UNIVERSITÉ DE LAUSANNE FACULTÉ DE MÉDECINE
CLINIQUE MÉDICALE UNIVERSITAIRE
DIRECTEUR : PROFESSEUR A. VANNOTTI

Intérêt de l'occlusion temporaire unilatérale de l'artère pulmonaire (méthode de Hanson) dans l'établissement du bilan fonctionnel préopératoire en chirurgie pulmonaire

THÈSE

PRÉSENTÉE A LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE L'UNIVERSITÉ DE LAUSANNE
POUR L'OBTENTION DU GRADE DE DOCTEUR EN MÉDECINE

PAR

OLIVIER THIÉBAUD
MÉDECIN DIPLOMÉ DE LA CONFÉDÉRATION SUISSE
ORIGINAIRE DE BROT-DESSOUS (NEUCHATEL)

LAUSANNE
IMPRIMERIE C. RISOLD & FILS
1960

UNIVERSITÉ DE LAUSANNE FACULTÉ DE MÉDECINE
CLINIQUE MÉDICALE UNIVERSITAIRE
DIRECTEUR : PROFESSEUR A. VANNOTTI

Intérêt de l'occlusion temporaire unilatérale de l'artère pulmonaire (méthode de Hanson) dans l'établissement du bilan fonctionnel préopératoire en chirurgie pulmonaire

THÈSE

PRÉSENTÉE A LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE L'UNIVERSITÉ DE LAUSANNE
POUR L'OBTENTION DU GRADE DE DOCTEUR EN MÉDECINE

PAR

OLIVIER THIÉBAUD

MÉDECIN DIPLOMÉ DE LA CONFÉDÉRATION SUISSE
ORIGINAIRE DE BROT-DESSOUS (NEUCHATEL)

LAUSANNE
IMPRIMERIE C. RISOLD & FILS
1960

UNIVERSITÉ DE LAUSANNE

FACULTÉ DE MÉDECINE

Le Conseil de la faculté de médecine de l'Université de Lausanne, après avoir pris connaissance des rapports favorables de MM. les professeurs A. VANNOTTI et ED. JEQUIER-DOGE et sans se prononcer sur les opinions du candidat, autorise l'impression de la thèse intitulée :

Intérêt de l'occlusion temporaire unilatérale de l'artère pulmonaire (méthode de Hanson) dans l'établissement du bilan fonctionnel préopératoire en chirurgie pulmonaire

présentée par Monsieur OLIVIER THIÈBAUD pour l'obtention du grade de Docteur en médecine.

Lausanne, le 24 juin 1960.

Le Doyen :
Prof. E. B. STREIFF

A LA MÉMOIRE DE MON PÈRE

Au PROFESSEUR A. VANNOTTI,

au patron qui a encouragé et favorisé le travail d'équipe et à qui nous devons la création du « centre respiratoire » de la Clinique Médicale Universitaire de Lausanne,
j'exprime ma profonde reconnaissance.

Au Dr B. BAUDRAZ,

au maître qui a inspiré et dirigé ce travail, à l'ami, à la collaboration précieuse duquel je dois tant,
je dis toute ma gratitude.

A l'ensemble de l'équipe du « centre respiratoire »,
j'adresse mes remerciements.

INTÉRÊT DE L'OCCLUSION TEMPORAIRE UNILATÉRALE DE L'ARTÈRE PULMONAIRE (MÉTHODE DE HANSON) DANS L'ÉTABLISSEMENT DU BILAN FONCTIONNEL PRÉOPÉRATOIRE EN CHIRURGIE PULMONAIRE

I. INTRODUCTION

C'est depuis une vingtaine d'années, soit à la suite du développement de la chimiothérapie antituberculeuse et de la chirurgie thoracique, que l'exploration de la fonction cardio-respiratoire a pris l'importance clinique qu'elle connaît actuellement. La préoccupation clinique d'établir avec précision la valeur fonctionnelle des poumons ou d'un poumon en particulier n'est apparue que dès le moment où il a été possible d'intervenir chirurgicalement sur un hémithorax, lorsqu'il s'agit de collaber transitoirement un poumon (opération portant sur l'œsophage, le cœur ou le médiastin), ou lorsqu'on s'attaque directement au parenchyme pulmonaire pour le réséquer. L'existence, d'une chimiothérapie antituberculeuse puissante et variée d'une part, de nouvelles thérapeutiques chirurgicales de collapsothérapie ou d'exérèse d'autre part, permet d'envisager une intervention chez un grand nombre de malades considérés jusqu'alors comme inguérissables. Or certains patients, nous pensons tout particulièrement aux tuberculeux chroniques qui ont parfois déjà épuisé toutes les ressources de la chimiothérapie et de la collapsothérapie, représentent des cas limites, en ce qui concerne les conditions d'opérabilité et surtout le pronostic postopératoire fonctionnel. Le malade guéri de sa tuberculose doit bien en fin de compte vivre grâce à la fonction respiratoire qui lui reste ; il n'est pas suffisant ni même certainement désirable de rendre le poumon abacillaire, si cet organe n'est pas capable par la suite de supporter les surcharges fonctionnelles que lui impose la vie de tous les jours.

Le problème qui se pose actuellement avant une opération d'exérèse pulmonaire, n'est pas de connaître les volumes pulmonaires, ni les réserves de ventilation, ni tout autre élément isolé de la fonction cardio-respiratoire, mais bien la participation fonctionnelle de chacun des deux poumons ou, plus

simplement, la valeur fonctionnelle du territoire destiné à être enlevé. L'intervention proposée est-elle réalisable sans que le patient devienne ultérieurement un invalide fonctionnel ? C'est-à-dire la vie sera-t-elle assurée, non seulement au repos au lit, mais également pour des efforts minimes tels que ceux qui consistent à se lever, s'asseoir, manger, etc.? Si tel n'est certainement pas le cas, l'intervention en question ne se justifie pas. Tant par des expériences chez l'animal que par des exérèses successives chez l'homme, il a été prouvé qu'on peut réaliser une amputation de surface alvéolaire très importante, sans gêne sérieuse, pour autant que la circulation pulmonaire s'adapte en se redistribuant dans les capillaires restants. Comment meurt un patient après exérèse pulmonaire ? A moins que ce ne soit par récidive ou extension de la maladie causale (tuberculose ou cancer), par encombrement accidentel ou par complications opératoires directes (lâchage de sutures, etc.), c'est toujours d'insuffisance du cœur droit. Ce fait semble mettre en évidence la primauté du facteur circulatoire, en cas d'exérèse, au moins au repos et lors d'efforts moyens.

Le problème envisagé ne peut être résolu par le simple examen clinique, mais nécessite des techniques précises permettant une exploration de la fonction cardio-respiratoire complète et tenant compte des 3 moments, préopératoire, postopératoire immédiat et postopératoire lointain. L'examen « idéal » comporte certaines caractéristiques. Il devrait être aussi peu traumatisant que possible et n'imposer aux patients qu'un nombre restreint d'épreuves. En effet, d'une part les examens successifs sont fatigants, d'autre part le fait qu'ils ne sont pas effectués simultanément introduit inévitablement des causes d'erreurs dans l'interprétation des résultats. Enfin, toute méthode utilisée, d'une durée minima, devrait être capable de donner le plus grand nombre possible de renseignements simultanés sur la ventilation, les échanges gazeux, les tensions partielles gazeuses sanguines et l'hémodynamique, dans des conditions qui se rapprochent au maximum de l'état postopératoire, non seulement au repos mais aussi à l'effort.

Il fallait que la physiologie de la respiration soit suffisamment connue pour que puisse se développer l'exploration de la fonction cardio-respiratoire. La respiration, dont le but est le passage de l'oxygène de l'air ambiant aux capillaires pulmonaires d'une part, et le passage en sens inverse du gaz carbonique du sang capillaire à l'extérieur d'autre part, comporte 3 étapes : la ventilation, l'étape alvéolo-capillaire et la circulation pulmonaire. A l'état physiologique, il existe une harmonie telle que l'organisme reçoit continuellement l'oxygène dont il a besoin et élimine la totalité du gaz carbonique en excès. Les éléments

et les étapes de la fonction respiratoire étant solidaires les uns des autres, l'analyse fractionnée de l'un d'eux ne peut renseigner sur l'ensemble. Il n'empêche que pour beaucoup la respiration est synonyme de ventilation, ce qui équivaut à considérer les poumons comme de simples soufflets. Cette simplification abusive est probablement due au fait que la ventilation est l'étape respiratoire la plus aisément accessible à l'examen.

Sur le plan historique, il apparaît de façon particulièrement évidente que l'exploration fonctionnelle de la respiration ne progresse que dès le moment où les physiologistes ont été capables d'appréhender le complexe « respiration » dans tous ses éléments et d'établir les rapports existants entre les différentes phases du transfert de l'oxygène et du gaz carbonique. Bien que la spirométrie soit connue depuis plus d'un siècle et que les bases théoriques de la physiologie respiratoire comme les principales méthodes d'examen fonctionnel existent dès la première guerre mondiale, aucune tentative de synthèse n'est réalisée pendant longtemps. Tandis que l'école de Brauer voue tous ses soins à la volumétrie pulmonaire, Meakins et Davies, Dautrebande s'occupent uniquement d'analyser l'air alvéolaire et de doser les gaz du sang artériel. C'est seulement en 1946 que Rossier et Méan, Riley et coll. peuvent montrer qu'une formulation mathématique des rapports entre la circulation et les échanges gazeux est possible, au même titre qu'une synthèse alvéolo-capillaire. De même, le problème des troubles de diffusion dans le poumon, bien qu'envisagé déjà en 1912 par Douglas, n'est étudié correctement seulement depuis qu'on comprend l'importance du facteur circulatoire, soit après la découverte du cathétérisme cardiaque par Forssmann en 1929, et surtout après les travaux de Cournand et coll. en 1941 qui assurent le développement technique de la méthode. Limité d'abord à l'oreillette droite, le cathétérisme cardiaque permet bientôt l'exploration du ventricule droit et de l'artère pulmonaire, rendant possible l'application du principe de Fick au calcul du débit cardiaque. L'exploration de la fonction séparée de chacun des deux poumons se heurte aux mêmes difficultés. Au début du XX^me^ siècle, Loewy et Schröter réalisent la première séparation des airs chez l'homme. Ensuite les recherches ne manquent pas. La bronchospirométrie, imaginée et mise au point par Jacobaeus et coll. en 1934, s'avérant trop compliquée, divers auteurs (Bezançon, puis ultérieurement Arnaud) inventent la technique d'occlusion bronchique. Néanmoins, après qu'on ait compris les défauts de principe inhérents à cette méthode, on revient à la bronchospirométrie classique, dont la technique entre temps se simplifie. On se rend alors compte que cet examen donne des renseignements sur la valeur fonc-

tionnelle relative d'un poumon par rapport à l'autre lorsque les deux fonctionnent, sans permettre de juger de la capacité d'un poumon d'assurer seul les échanges respiratoires. Enfin les auteurs tentent de réaliser la réduction, ou même la suppression de la circulation dans un poumon, par diverses modifications des mélanges gazeux inhalés (azote, rebreathing). Ces tentatives, dans la mesure où ceux qui les utilisent se croient autorisés à affirmer des modifications circulatoires qu'ils n'ont pas les moyens de vérifier, aboutissent à une impasse qui n'est d'ailleurs pas résolue par l'examen hémodynamique global du cathétérisme cardiaque. Nous pensons que les travaux de Carlens, Hanson et Nordenström en 1951 apportent une solution clinique beaucoup plus satisfaisante au problème.

Au cours de ce travail, nous nous proposons non pas d'étudier systématiquement toutes les techniques d'examen de la fonction respiratoire, mais, après avoir relevé l'impuissance des méthodes habituelles d'examen global et séparé à répondre au problème clinique posé par chaque patient destiné à une exérèse, de montrer l'intérêt de l'occlusion pulmonaire temporaire unilatérale proposée par Hanson.

II. L'EXAMEN GLOBAL DE LA FONCTION CARDIO-RESPIRATOIRE

Il va sans dire que toute exploration fonctionnelle respiratoire doit être précédée d'une bonne anamnèse et d'un examen clinique. La radioscopie thoracique, qui donne une idée précise de la motilité diaphragmatique et costale, s'avère très supérieure à la radiographie. Mais, dans bien des cas, il n'existe pas de relation précise entre l'importance des signes cliniques et radiologiques d'une part, et de l'atteinte réelle de la fonction respiratoire d'autre part. Cette fonction complexe doit être explorée par des méthodes quantitatives permettant l'analyse de ses différentes phases.

A. Les tests de la ventilation.

Les mesures volumétriques les plus utiles à l'appréciation fonctionnelle préopératoire sont certainement la capacité vitale, la ventilation maxima, le volume expiratoire maximum/seconde et le volume résiduel. Les renseignements qu'elles apportent sont importants parce que :

1. Certaine baisse de la ventilation contre-indique toute thoracotomie.

Nous pensons, avec la plupart des auteurs qui se sont intéressés à ce problème, qu'une capacité vitale de 1 litre et une ventilation maxima de 30 litres/minute doivent être considérées comme des valeurs limites.

2. Certaine baisse de la ventilation contre-indique certains types d'intervention.

Nous savons actuellement que les interventions collapsothérapiques les plus défavorables, au point de vue fonctionnel, sont celles qui portent sur le phrénique. Les pneumothorax intra- et extrapleuraux amputent relativement peu la ventilation, à condition qu'ils ne s'accompagnent à aucun moment de complications pleurales. La thoracoplastie apicale est considérée comme l'intervention collapsothérapique qui retentit le moins sur la fonction respiratoire. Les conséquences fonctionnelles du pneumopéritoine sont encore mal connues. Il en est de même des

exérèses. Ce problème est très complexe, car il doit tenir compte de l'état fonctionnel du parenchyme destiné à être enlevé et du parenchyme restant, du degré de fixité du médiastin avant et après l'opération, en particulier. Seule la pratique systématique des tests de la ventilation avant et après l'intervention, comme l'ont déjà fait certains auteurs (Gaensler, Hirdes, etc.), permettra de prévoir à l'avenir l'amputation fonctionnelle correspondant à telle exérèse d'une part, et d'indiquer d'autre part, dans certains cas, une thoracoplastie de couverture pour éviter une aggravation fonctionnelle tardive secondaire à une distension du parenchyme pulmonaire restant ou à un déplacement médiastinal.

3. Certaines valeurs de la ventilation limitent toute intervention quant à son étendue.

La plupart des auteurs s'accordent à exiger, comme marge de sécurité, une capacité vitale de 1 litre à 1,5 litre, l'intervention terminée. Ainsi, dans certains cas, un décollement extrapleural ne devra pas être poussé jusqu'au diaphragme, une thoracoplastie ne devra pas s'étendre au-delà de la 6me côte, et enfin la fonction d'un lobe restant devra être conservée à tout prix.

B. La mesure des échanges gazeux.

La consommation d'oxygène, en tant que valeur absolue isolée, n'a pas de signification réelle dans le problème respiratoire qui nous occupe. Les renseignements qu'elle fournit concernent autant la respiration que le métabolisme, puisque l'individu consomme dans toutes circonstances l'oxygène dont son organisme a besoin.

La ventilation et **l'élimination de gaz carbonique** ne constituent des tests vraiment utiles, en eux-mêmes, à l'établissement du bilan fonctionnel que lorsque les valeurs enregistrées sont nettement diminuées. Elles attestent alors une insuffisance respiratoire manifeste. Le comportement de la ventilation et de l'élimination de gaz carbonique en hyperoxie modérée (35 à 40 % d'oxygène) fait parfois apparaître une insuffisance respiratoire latente.

L'équivalent ventilatoire pour l'oxygène, soit le rapport de la ventilation à la consommation d'oxygène, donne des renseignements très précieux, aussi bien lorsque la capacité vitale et la ventilation maxima sont normales que lorsqu'elles sont abaissées, mais leur interprétation est difficile. En effet, si une élévation de l'équivalent permet de soupçonner l'existence de

shunts ventilatoires, elle n'en précise pas la nature ; une hyperpnée peut correspondre, soit à la présence de zones pulmonaires correctement ventilées mais mal irriguées, soit à une diminution du débit cardiaque global ; à l'opposé un équivalent anormalement bas peut signifier, aussi bien une hypoventilation absolue, qu'une modification du rapport entre la ventilation et le débit cardiaque, par augmentation de celui-ci. L'équivalent ventilatoire pour l'oxygène ne peut être correctement interprété que si on connaît simultanément les valeurs des tensions partielles gazeuses alvéolaires ou sanguines.

C. Les analyses gazométriques du sang artériel.

Elles constituent une étape très importante du bilan fonctionnel, puisque les tensions partielles d'oxygène et de gaz carbonique sont maintenues remarquablement constantes en toute circonstance chez le normal ; les renseignements que fournissent ces analyses permettent de conclure à l'existence ou non d'une insuffisance respiratoire. Il est bien évident que l'existence d'une insuffisance respiratoire au sens propre du terme (augmentation de la pCO_2 et abaissement de la pO_2 artérielles) constitue toujours une aggravation du risque opératoire et postopératoire, et souvent une contre-indication absolue à toute intervention devant comporter l'exérèse de tissu pulmonaire fonctionnel.

D. Le cathétérisme du cœur et des gros vaisseaux.

« En dehors des maladies cardiaques congénitales, où il constitue le procédé diagnostique de choix, le cathétérisme des cavités cardiaques droites et de l'artère pulmonaire fournit des renseignements qu'aucune autre méthode ne peut apporter dans nombre de maladies cardiaques et pulmonaires » *). Il permet l'étude hémodynamique de la petite circulation, soit : le prélèvement du sang veineux mêlé pour analyses gazométriques, l'application du principe de Fick au calcul du débit cardiaque, l'enregistrement des pressions intracavitaires et intravasculaires pulmonaires, le calcul des résistances pulmonaires. Dans le problème qui nous occupe, les précisions qu'apporte le cathétérisme sont de toute importance.

---

*) Examen de la fonction cardio-pulmonaire au repos et à l'effort, par B. Baudraz, R.-O. West, P. Desbaillets et J.-L. Rivier. Journal Suisse de Médecine 1956. n° 23, page 684.

L'angiocardiographie, qui constitue un examen de diagnostic souvent utile, présente par contre peu d'intérêt dans le bilan préopératoire de la fonction cardio-respiratoire.

E. Les épreuves d'effort.

L'examen des différentes étapes de la fonction respiratoire au repos n'indique pas les réactions du système respiratoire lorsque celui-ci est soumis à une surcharge fonctionnelle. Il ne donne en particulier pas d'idée précise sur les réserves fonctionnelles qui sont mises à contribution au cours du travail.

Correctement réalisée (en ce qui concerne la technique de la méthode, nous nous référons à l'article de Baudraz, West, Desbaillets et Rivier) et associée aux autres méthodes d'examen fonctionnel, la spiro-ergographie, qui permet souvent de déceler une insuffisance respiratoire latente au repos, apporte des renseignements très utiles dans l'appréciation du bilan fonctionnel respiratoire.

III. METHODES D'EXPLORATION PERMETTANT D'APPRECIER LA VALEUR FONCTIONNELLE RELATIVE DE CHACUN DES DEUX POUMONS

Si les différentes méthodes que nous avons examinées permettent d'apprécier la valeur fonctionnelle globale des deux poumons, elles ne donnent aucune indication précise sur la participation fonctionnelle respective de chacun des deux poumons.

La radiologie et la radioscopie surtout, comme nous l'avons déjà signalé, fournissent des renseignements précis en ce qui concerne deux ordres de faits : la cinématique thoraco-diaphragmatique et les variations d'opacité pulmonaire entraînées par la ventilation. La pratique systématique des manœuvres classiques (respiration forcée, toux, reniflement) oriente et facilite la recherche des signes fonctionnels et en particulier du «trapping».

A. La bronchospirométrie ou séparation des airs.

Il s'agit d'une technique difficile qui nécessite un appareillage précis sans lequel les résultats sont difficilement interprétables ou inutiles. Les meilleures conditions techniques étant réalisées (préparation psychologique du patient, anesthésie parfaite, absence de sécrétions, sonde en place et possibilité de repérage radiologique pendant l'examen, double spirographe ventilé, enregistrement simultané, épuration et étanchéité totale des circuits), la bronchospirométrie néanmoins fournit peu de renseignements. Elle donne des indications sur la ventilation et, quand elle est pratiquée sous oxygène, sur la circulation de chaque poumon.

La critique essentielle qu'on doit faire à la bronchospirométrie comme méthode d'examen fonctionnel préopératoire, concerne son principe. A la question que pose chaque cas avant une opération (le parenchyme pulmonaire qui subsiste pourra-t-il assurer seul une respiration normale et suffisante ?), la bronchospirométrie ne répond pas, puisqu'elle ne comporte en aucun moment l'**exclusion fonctionnelle,** du poumon ou de la portion de parenchyme pulmonaire qu'on se propose d'enlever.

Les autres critiques concernent les limites de la méthode :

1. Si la mesure de la capacité vitale est possible, celle des débits ventilatoires ne l'est pas. Les épreuves de ventilation maxima sont très pénibles pour le malade, et les résultats sont sans rapport avec la ventilation maxima globale, la résistance offerte par la sonde au débit aérien étant trop grande. Pour la même raison, l'enregistrement du volume expiratoire maximum seconde (épreuve de Tiffeneau) est irréalisable.

2. Le calcul de l'équivalent ventilatoire pour l'oxygène n'est théoriquement possible que si l'on peut assurer la constance de la FiO2, ce qui n'est pas le cas avec la plupart des appareils utilisés. Que l'on emploie de l'oxygène pur au départ ou que l'on fasse inhaler un mélange gazeux voisin de l'air atmosphérique, à mesure que l'examen progresse, les FiO2 de chacun des poumons vont varier et différer l'une de l'autre, chacun des circuits ayant même capacité mais par contre une consommation d'oxygène différente.

En outre, les causes d'erreur possibles dans la lecture de la ventilation et de la consommation d'oxygène rendent le calcul de l'équivalent ventilatoire pour l'oxygène peu précis. Seules les différences grossières de l'équivalent entre l'un et l'autre poumons peuvent être assurées.

3. La séparation des airs ne s'accompagne pas d'une séparation des sangs.

La bronchospirométrie reste par contre une méthode utile et intéressante dans l'appréciation du retentissement ventilatoire et peut-être circulatoire dans un poumon, d'une affection ou d'une thérapeutique collapsothérapique, lorsque l'évolution de la maladie ou du traitement a intéressé également l'autre poumon.

B. La bronchospirométrie avec effort.

Le fait d'associer une épreuve d'effort à la bronchospirométrie constitue certainement une méthode intéressante. Bien que n'ayant pas personnellement l'expérience de ce procédé, nous nous permettrons d'émettre quelques critiques :

1. La durée de l'examen est prolongée de façon importante. Si l'on veut s'en tenir à une technique rigoureuse et respecter tous les critères qui seuls permettent d'obtenir des résultats satisfaisants, il faut, lors de l'examen bronchospirométrique au repos, exiger une durée de ventilation de base suffisante, et au moins deux enregistrements de la consommation d'oxygène d'une durée également suffisante. L'introduction d'une

épreuve d'effort doit, non seulement comporter les mêmes exigences de durée, mais encore tenir compte de la période d'adaptation, si on veut obtenir un steady state. Si cette épreuve est réalisable chez certains malades dont la collaboration et les conditions d'examen sont particulièrement favorables, elle ne nous paraît pas pouvoir être utilisée couramment en raison de sa durée et de la fatigue qu'elle représente. Il semble d'ailleurs que ces conclusions, bien que non exprimées, ressortent des travaux de Jacob et Björkman-Carlens, où cette méthode est citée plutôt à titre documentaire. Nous n'avons pas connaissance dans la littérature d'examens analogues ayant porté systématiquement sur un grand nombre de malades.

2. En ce qui concerne la technique de la méthode, tandis que Jacob renonce volontairement à l'enregistrement ergométrique pour pouvoir mieux adapter l'effort demandé aux conditions du patient, Björkman et Carlens préconisent l'emploi d'un cyclergomètre. Sans vouloir discuter les avantages et les inconvénients de chacune des techniques, nous nous contenterons d'exprimer l'opinion que le procédé utilisé par Jacob, bien qu'il mesure la consommation d'oxygène et permette ainsi d'apprécier l'importance de l'effort, n'est pas assez précis. Il est par contre intéressant de relever le fait que les conclusions, auxquelles les auteurs considérés arrivent, sont nettement opposées. En effet, tandis que Jacob voit dans cette méthode la possibilité d'examiner la capacité de compensation du poumon restant, Björkman est surpris de constater qu'à l'effort la part de chaque poumon, tant au point de vue ventilation qu'au point de vue consommation d'oxygène, reste sensiblement la même qu'au repos. A première vue, le choix des malades semble assez identique chez les deux auteurs, et les critères utilisés sont les mêmes, à savoir la ventilation et la consommation d'oxygène. Sans chercher le pourquoi de ces divergences, nous déplorons seulement que cette méthode ne permette pas de réaliser des efforts graduellement dosés allant jusqu'aux valeurs maxima, à partir desquelles des normes pourraient être établies. En l'absence de ces dernières, toute comparaison de résultats est illusoire. Aucun des auteurs envisagés n'ayant prélevé du sang artériel, nous estimons que l'augmentation de la consommation d'oxygène qu'ils ont pu constater est dépourvue de valeur ; nous ignorons en effet, dans ces conditions, si l'effort pratiqué s'est accompagné ou non d'une insuffisance respiratoire.

Ainsi cette méthode, qui appelle en outre les mêmes critiques que la bronchospirométrie classique, n'apporte pas de renseignement nouveau décisif dans l'appréciation du bilan préopératoire fonctionnel.

C. Les épreuves d'hypoxie unilatérale.

Depuis longtemps de nombreux auteurs étudient le retentissement, sur la ventilation et la circulation pulmonaire, de mélanges gazeux inhalés dont le contenu en oxygène est inférieur à celui de l'air atmosphérique. Cette étude présente un grand intérêt physio-pathologique et clinique. L'importance des épreuves d'hypoxie unilatérale pour l'examen fonctionnel réside dans le fait qu'elles constituent une introduction à la physiologie de l'occlusion d'une artère pulmonaire. En effet, l'hypoxie unilatérale est utilisée comme examen préopératoire dans l'idée qu'elle représente un moyen d'exclusion fonctionnelle de la circulation pulmonaire.

L'étude des travaux publiés sur ce sujet (Moore et Cochran, Jacobaeus et Bruce, von Euler et Liljestrand, Dirken et Heemstra, Nisell, Atwell-Hickam-Pryor et Page, Lewis et Gorlin, Peter et Roos, Stroud et Rahn, Heemstra) en montre la complexité. Les conclusions tirées sont parfois fort divergentes. Il semble que ce fait soit imputable à plusieurs causes :

a) les techniques utilisées, essentiellement expérimentales, sont très diverses (espèce animale, type d'anesthésie, degré de la désaturation oxyhémoglobinée du sang artériel lors des périodes de contrôle ou lors d'hypoxie unilatérale, durée, absence fréquente d'enregistrement de la ventilation ou de contrôles artériels, etc.) ;

b) un steady state circulatoire, respiratoire et métabolique n'est pas toujours réalisé ou maintenu ;

c) la plupart de ces auteurs utilisent des méthodes indirectes pour le calcul du débit cardiaque.

En 1955, Fishman, Himmelstein, Fritts et Cournand, publient des expériences qui ont l'avantage d'avoir été réalisées chez l'homme d'une part, et d'avoir utilisé simultanément tous les procédés et techniques d'investigation dont nous disposons actuellement dans ce domaine d'autre part. La méthode qu'ils ont mise au point consiste en une combinaison de la bronchospirométrie, du cathétérisme cardiaque et de la ponction artérielle. Elle permet l'application du principe de Fick au calcul, non seulement du débit circulatoire total, mais encore du débit circulatoire de chaque poumon.

Ces expériences montrent que les variations de consommation d'oxygène, notées par différents auteurs lors des épreuves d'hypoxie unilatérale, s'expliquent par des modifications de tension oxygène alvéolaire et veineuse en l'absence de toute modification du débit cardiaque et de la ventilation. Ceci revient à

dire que l'hypoxie unilatérale n'engendre pas un shunt circulatoire vers l'autre poumon, mais place ce poumon dans des conditions artificiellement favorables quant à sa capacité de diffusion d'oxygène, conditions qui ne seront pas réalisées après pneumonectomie.

En tant que méthode d'appréciation fonctionnelle préopératoire, et conformément à l'idéal précédemment exposé, la place qu'occupent les épreuves d'hypoxie unilatérale nous paraît très limitée. En effet, les conditions particulières créées par l'hypoxie unilatérale rendent l'appréciation des résultats très délicate. Les conclusions précises apportées par les travaux de Fishman, Himmelstein, Fritts et Cournand, en particulier en ce qui concerne l'augmentation de la consommation d'oxygène, en sont une preuve certaine.

D. L'occlusion bronchique.

Dans l'intention essentielle d'éviter les écueils de la bronchospirométrie, Bezançon et ses collaborateurs ont l'idée, dès 1938, de cathétériser successivement chaque bronche souche à l'aide d'une sonde introduite par voie nasale et munie près de son extrémité d'un ballonnet. Cette technique permet l'analyse séparée des airs issus de chaque poumon, pour autant qu'on admette que l'air ainsi recueilli soit réellement physiologiquement brassé.

D'autres auteurs, à la suite de Bezançon, s'occupent de réaliser une méthode d'examen capable de placer le sujet dans les conditions les plus voisines du nouvel état respiratoire créé par l'amputation d'une intervention collapsothérapique ou d'une exérèse. Ils veulent en outre que la méthode en question soit techniquement assez simple pour être d'un usage clinique courant. C'est ainsi qu'Arnaud met au point l'exploration séparée des poumons par occlusion bronchique.

Cette méthode, qui est techniquement facile et a trouvé en France un grand retentissement, appelle des critiques importantes, essentiellement inhérentes à son principe. L'occlusion bronchique ne constitue pas une épreuve d'exclusion pulmonaire interprétable. En maintenant la circulation dans le poumon intéressé, on modifie les conditions de travail du poumon exploré, dans une mesure que les auteurs n'ont pas étudiée. On peut admettre que l'occlusion bronchique entraîne une augmentation considérable du débit cardiaque, analogue à celle que l'on rencontre en cas d'anévrisme artério-veineux pulmonaire. Le shunt artério-veineux ainsi artificiellement créé met le poumon exploré au bénéfice d'une baisse importante de la satu-

ration oxyhémoglobinée du sang veineux mêlé — sans analogue postopératoire — qui augmente la capacité de diffusion pour l'oxygène dans une mesure imprévisible.

Ces conditions d'examen se rapprochent-elles vraiment, comme le pensent Arnaud et ses collaborateurs, du nouvel équilibre respiratoire créé par une intervention chirurgicale collapsothérapique ou d'exérèse ? Il est probable que, dans certaines opérations thoraciques collapsothérapiques, l'état postopératoire immédiat réalise effectivement un court-circuit circulatoire, dans la mesure où le traumatisme opératoire et la douleur entraînent une paralysie réflexe pratiquement totale de l'hémithorax opéré portant sur la ventilation, tandis que la circulation pulmonaire est maintenue. La chute consécutive de la saturation oxyhémoglobinée du sang artériel en constitue une preuve. En général pourtant, et à moins de complications durables du côté opéré ou de l'autre côté, cette situation ne dure que quelques heures. Par ailleurs, ce court-circuit circulatoire n'est jamais réalisé dans les exérèses de tout un poumon, puisque l'amputation porte alors aussi bien sur la ventilation que sur la circulation. Si les résultats obtenus par la méthode d'Arnaud sont peut-être partiellement corrects lorsque l'intervention envisagée est une collapsothérapie chirurgicale, ils sont certainement inutilisables lorsqu'il s'agit d'exérèse.

Les élèves d'Arnaud cherchent à simplifier la technique de l'occlusion bronchique en supprimant tout enregistrement spirographique. La sonde est introduite par la bouche. On peut ainsi très sommairement classer les malades en deux catégories : ceux qui supportent l'occlusion bronchique pendant plus de deux minutes, et ceux qui asphyxient dans un temps inférieur à deux minutes, ces derniers étant réputés inopérables. Le test d'Arnaud ainsi défini paraît à première vue satisfaisant, dans la mesure où il est simple à exécuter et de courte durée. Il nous semble pourtant condamnable pour toutes les critiques que nous avons soulevées à propos de la méthode originale d'Arnaud d'une part, et d'autre part, parce qu'en supprimant tout enregistrement spirographique, on se prive d'un contrôle quantitatif de la ventilation. En outre, la durée de l'épreuve fixée à deux minutes risque dans certains cas de conduire à des conclusions trop optimistes, ce délai ne permettant pas à priori d'affirmer que le poumon testé sera à même à la longue d'assurer la surcharge imposée.

La presque totalité des auteurs a complètement abandonné l'occlusion bronchique pour revenir à la bronchospirométrie, en dépit de ses causes d'erreurs et de ses aléas techniques.

IV. L'OCCLUSION TEMPORAIRE UNILATERALE DE L'ARTERE PULMONAIRE

A. Introduction.

Comme nous l'avons indiqué au début de ce travail, l'examen préopératoire de fonction cardio-respiratoire « idéal » comporte certaines caractéristiques. Les conclusions qu'on peut en tirer devraient permettre de fixer, non seulement les conditions d'opérabilité, mais encore le pronostic postopératoire immédiat et lointain. Cet examen devrait donc en particulier permettre de prévoir la réaction du cœur droit à la réduction du lit vasculaire pulmonaire résultant d'une résection parenchymateuse.

Les méthodes d'exploration fonctionnelle que nous avons étudiées, prises isolément ou associées, ne satisfont pas à ces exigences. C'est la raison pour laquelle divers auteurs, profondément frappés par le tableau navrant de l'invalidité cardio-respiratoire qui suit parfois certaines exérèses pulmonaires, se mettent à la recherche d'un test plus satisfaisant. En ce qui concerne l'historique des premières expériences d'occlusion d'une artère pulmonaire ou d'une de ses branches, nous renvoyons au travail de Hanson.

En 1951, Carlens, Hanson et Nordenström, surpris par le comportement, en cours de pneumonectomie, de la saturation oxyhémoglobinée du sang artériel chez un patient atteint de shunt artério-veineux unilatéral, avant et après la ligature de l'artère pulmonaire, préconisent les premiers l'occlusion temporaire unilatérale de l'artère pulmonaire comme méthode d'examen fonctionnel préopératoire. Dans un article paru en 1951, ces auteurs décrivent brièvement la méthode, ainsi que les résultats d'expériences portant sur 8 chiens en anesthésie générale et 3 patients non anesthésiés.

En 1954, Hanson publie un travail d'ensemble portant sur 66 patients, atteints d'affections pulmonaires chroniques variées, examinés par la méthode d'occlusion pulmonaire le plus souvent en vue d'une intervention. Il s'agit, dans la majorité, de cas à la limite de l'opérabilité, dont la fonction cardio-respiratoire globale est médiocre. En conclusion, l'auteur, envisageant l'occlusion temporaire unilatérale de l'artère pulmonaire en tant que

test préopératoire de la fonction cardio-respiratoire, fait les remarques suivantes :

1. elle est toujours bien supportée et ne s'accompagne d'aucune complication per ou postopératoire ;
2. elle permet le diagnostic et la localisation d'un shunt artério-veineux pulmonaire ;
3. pour l'évaluation clinique, même une occlusion subtotale peut, dans certains cas, donner une information suffisante ;
4. des conclusions définitives concernant la valeur de la méthode ne pourront être tirées que lorsqu'on disposera d'un matériel plus important.

Nordenström, dans une thèse publiée en 1954 également, montre les applications radiologiques de l'occlusion pulmonaire unilatérale. Les techniques classiques ne permettent pas de mettre en évidence une artère pulmonaire sur un profil, vu la superposition des deux hémithorax. En utilisant un cathéter double muni d'un orifice s'ouvrant en amont ou en aval du ballonnet, on peut obtenir une opacification très satisfaisante des vaisseaux d'un poumon électivement. Ce procédé permet d'utiliser des quantités relativement faibles d'un produit de contraste peu concentré, sous la forme d'une solution isotonique aux tissus, et évite la prise de nombreux clichés successifs.

B. Expérience personnelle.

Depuis la thèse originale de Hanson, il n'est paru, à notre connaissance, aucun travail d'ensemble sur la méthode d'occlusion pulmonaire réalisée en tant qu'examen préopératoire de fonction cardio-respiratoire, en clinique, chez un nombre à la fois suffisamment grand et homogène de patients, avec enregistrement simultané de toutes les valeurs de la ventilation, des échanges gazeux et de l'hémodynamique. C'est pourquoi nous avons cru bon de présenter ici la casuistique détaillée de 20 cas, sur les 44 examens réalisés à la clinique médicale depuis le 1. 4. 1955, par les Docteurs Rivier, Baudraz, Desbaillets et Reymond travaillant en équipe. Cet exposé n'a aucune prétention statistique. Ces 20 patients sont les 20 premiers chez lesquels les enregistrements sont techniquement satisfaisants. Cette casuistique, dans la mesure où elle concerne des patients examinés dans le même service et selon les mêmes critères, doit permettre de comparer, d'une part l'épreuve de Hanson aux méthodes habituelles d'examen fonctionnel, d'autre part les prévisions dictées par cet examen aux résultats post-opératoires, au moins dans un certain nombre de cas. Nous es-

pérons ainsi aider à préciser aussi bien les indications que les limites de la méthode.

1. Technique

a) de l'examen global.

La capacité vitale, la ventilation maxima volontaire et le métabolisme au repos sont obtenus à l'aide du métabographe de Fleisch, les deux premiers examens étant effectués en position debout, et le dernier en décubitus dorsal. Le métabographe permet d'enregistrer continuellement et simultanément, en circuit fermé, le spirogramme (BTPS), la consommation d'oxygène (STPD), l'élimination de gaz carbonique (STPD), la ventilation (BTPS), et l'équivalent ventilatoire pour l'oxygène ou le quotient respiratoire. Les mesures de la capacité vitale et de la ventilation maxima volontaire sont comparées aux valeurs théoriques d'après les formules de prédiction de Baldwin, Cournand et Richards.

Lorsqu'une épreuve d'effort est réalisée en dehors d'un cathétérisme, elle est exécutée en général en position assise et dosée à l'Ergostat de Fleisch. Cet appareil permet un travail déterminable à l'avance, constant et contrôlable à chaque instant, à une cadence qu'on peut fixer à 30, 60 ou 90 tours à la minute.

L'épreuve de Tiffeneau est effectuée en position debout à l'aide d'un spirographe de Knipping modifié et permettant une rotation rapide du kymographe.

b) de la bronchospirométrie.

Nous utilisons la sonde de Carlens, mise en place selon la technique habituelle et après prémédication. L'examen est réalisé au Pulmotest Godart, sous air atmosphérique avec réadmission périodique d'oxygène.

Lorsque nous pratiquons une bronchospirométrie, l'examen global qui la précède est effectué également au Pulmotest, en position couchée, afin de permettre une comparaison plus rigoureuse des résultats.

c) de l'épreuve de Hanson.

L'examen est pratiqué le matin sans prémédication, après que le patient ait reçu un petit déjeuner léger. Le cathéter est placé, sous contrôle radioscopique, dans l'artère pulmonaire selon la technique indiquée par Hanson. En ce qui concerne la disposition des locaux d'examen et de laboratoire, les techniques et le matériel utilisé, nous nous référons à l'article de

Baudraz, West, Desbaillets et Rivier. Pour la plupart des cas que nous relatons ici, le pH n'a malheureusement pas pu être mesuré avec une précision suffisante, ce qui nous a obligés à renoncer momentanément au calcul de la pCO2. Utilisant un pH-mètre précis à + ou — 0,01 pH, nous n'avons pas obtenu des résultats satisfaisants à l'aide d'une électrode de verre habituelle, probablement par suite d'une thermorégulation insuffisante. Plus récemment, nous avons eu recours à l'appareil d'Astrup qui nous donne entière satisfaction. Le débit cardiaque est calculé d'après le principe de Fick et la résistance pulmonaire d'après la formule suivante :

$$\text{R. P. dynes cm}^{-5} = \frac{\text{P A P m}}{\text{débit}} \times 1332 \times 60$$

Au repos, le sang veineux mêlé et le sang artériel sont prélevés après 10 à 15 minutes de stabilité de la ventilation et des échanges gazeux, d'abord sans remplir le ballonnet, puis à nouveau après avoir rempli ce dernier. Ces deux états correspondent respectivement aux rubriques R1 et R2 de notre casuistique.

Chaque fois que cela est possible, nous procédons à une épreuve d'effort. Nous utilisons l'Ergostat de Fleisch modifié pour permettre le travail en position couchée. L'appareil est solidaire de la table radiologique sur laquelle repose le patient. Des appuis-épaules permettent de pédaler en gardant les membres supérieurs libres et détendus. Un essai de travail pratiqué le jour précédent le cathétérisme cardiaque, permet d'adapter la charge et la cadence aux possibilités du malade de manière que l'effort soit suffisamment léger pour pouvoir être prolongé en steady state ventilatoire et circulatoire. Les indications fournies par le métabographe permettent de saisir le moment où la ventilation et les échanges gazeux sont équilibrés. Nous prélevons à nouveau du sang veineux mêlé et du sang artériel, une première fois tandis que le ballonnet est maintenu gonflé et, dans un second temps, ballonnet dégonflé, tandis que l'effort est poursuivi. Ces deux conditions correspondent respectivement aux rubriques E1 et E2 de notre casuistique.

Enfin, on demande au patient d'arrêter de pédaler ; le masque facial est enlevé, tandis que la sonde et l'aiguille de Cournand sont retirées.

2. Casuistique.

Le matériel consiste en 20 patients qui, du point de vue du diagnostic, se répartissent ainsi :

tuberculose : 10, dont 7 bilatéraux prédominant d'un côté, et 3 unilatéraux.
silico-tuberculose : 2 bilatéraux prédominant d'un côté.
cancer bronchique : 5.
adénome bronchique : 1.
angiome pulmonaire : 1.
infiltrat suspect de cancer : 1.

Dans tous les cas, les examens fonctionnels sont réalisés en vue de fixer les conditions d'opérabilité et le risque d'une exérèse cliniquement indiquée et proposée.

Ce matériel est certes inhomogène. Néanmoins, dans chaque cas, il a été procédé aux mêmes types d'examens de la fonction cardio-respiratoire globale et séparée, dans les mêmes conditions, et selon les mêmes techniques précédemment exposées. Ainsi, chez les 20 patients, nous avons pratiqué une spirométrie globale soit un enregistrement de la capacité vitale et de la ventilation maxima volontaire ; cet examen a été réalisé dans 14 cas au métabographe de Fleisch, dans 3 cas à la fois au métabographe de Fleisch et au Pulmotest Godart, enfin dans 3 cas seulement au Pulmotest. Chez un patient (cas 5), les valeurs théoriques manquent. Chez 15 patients, nous avons enregistré le métabolisme au repos au métabographe de Fleisch soit, la ventilation, la consommation d'oxygène, l'élimination de gaz carbonique, ainsi que le quotient respiratoire et l'équivalent ventilatoire pour l'oxygène. Nous avons soumis un patient (cas 1) à une épreuve d'effort en enregistrant le métabolisme dans ces conditions. Dans 12 cas, nous avons pratiqué une épreuve de Tiffeneau. Enfin, dans 6 cas, nous avons réalisé une bronchospirométrie. Chez 2 patients seulement (cas 5 et 12), les résultats obtenus sont valables. Chez une patiente (cas 2) l'examen a du être interrompu à la suite d'une hémoptysie. Chez un autre (cas 13) l'apparition d'une dyspnée et d'une cyanose importantes n'ont permis d'obtenir qu'une capacité vitale d'un côté. Chez 2 malades (cas 11 et 15), la séparation des airs n'autorise aucune conclusion, la première fois parce que l'enregistrement spirographique n'est pas techniquement suffisant, la seconde fois parce qu'on ne peut affirmer que la sonde était certainement en place.

Chez tous les patients, nous avons pratiqué l'occlusion unilatérale de l'artère pulmonaire soit, dans 19 cas du côté où l'intervention était prévue, et, une fois (cas 16) de l'autre côté, la sonde n'ayant pu être placée au bon endroit. Chez 13 patients, il a été procédé à une épreuve d'effort. La durée de l'examen varie entre 19 et 43 minutes pour R1, 16 et 27 minutes pour R2, 10 et 18 minutes pour E1, enfin 4 et 15 minutes pour E2.

Nous devons déplorer l'absence de données concernant l'effort ballonnet dégonflé (E2) chez 5 patients sur 13 (cas 3, 5, 12, 15 et 17), le travail n'ayant pu être maintenu suffisamment longtemps en steady state circulatoire et ventilatoire. Chez un malade (cas 12), la tension artérielle humérale n'a pas été enregistrée à la suite d'un oubli. Chez un autre (cas 6), il n'a pas été prélevé de sang veineux mêlé ni artériel en E2 pour des raisons techniques, ce qui empêche la mesure des saturations et de la capacité totale en hémoglobine, comme aussi le calcul du débit cardiaque et de la résistance pulmonaire. Dans ce même cas, comme encore dans le cas 10, la tension artérielle humérale en E2 n'a pas été mesurée par oubli.

Nous donnons ici l'explication des abréviations utilisées dans le tableau qui suit :

CVt	capacité vitale théorique en cm3
CVm	capacité vitale mesurée en cm3
Vmt	ventilation maxima théorique en litres/minute
Vmm	ventilation maxima mesurée en litres/minute
r	repos
e	effort
$\frac{VEMS \times CV}{100}$	$\frac{\text{volume expiratoire maximum/ seconde} \times \text{capacité vitale}}{100}$
f	fréquence respiratoire par minute
$\dot{V}$	ventilation en litres/minute BTPS
$\dot{V}o2$	consommation d'oxygène en litres/minute STPD
$\dot{V}co2$	élimination de gaz carbonique en litres/minute STPD
R	quotient respiratoire
Eq.02	équivalent ventilatoire pour l'oxygène $\frac{\dot{V} \text{ (BTPS)}}{\dot{V}O2 \text{ (STPD)}}$
$S\bar{v}$	saturation oxyhémoglobinée du sang veineux mêlé prélevé dans l'artère pulmonaire
$S\bar{a}$	saturation oxyhémoglobinée du sang artériel prélevé dans l'artère humérale
Cap. $\bar{a}$	capacité totale du sang artériel huméral en hémoglobine, exprimée en grammes
$\dot{Q}$	débit cardiaque en litres/minute
PmAH	tension artérielle humérale moyenne en mm Hg
PmAP	tension artérielle pulmonaire moyenne en mm Hg
r.P.	résistance pulmonaire en dynes cm-5
φ	fréquence cardiaque par minute.

Sur les 20 patients examinés, 14 ont été opérés. Les interventions réalisées se groupent ainsi quant à leur type et leur localisation :

3 thoracotomies, dont 2 à droite et 1 à gauche.
4 pneumonectomies, dont 2 à droite et 2 à gauche.
2 pleuro-pneumonectomies, dont 1 à droite et 1 à gauche.
1 lobectomie supérieure droite.
1 bilobectomie moyenne et inférieure droite.
2 lobectomies supérieures gauches avec lingulectomie, suivies, en un second temps, d'une thoracoplastie de couverture.
1 lobectomie supérieure droite et segmentectomie de Nelson.

Pour tous les cas opérés qui ont subi une exérèse et qui ne sont pas décédés pendant l'opération, soit 11 patients, des renseignements catamnestiques sont donnés. La durée de la catamnèse varie de 19 jours à 14 mois.

3. Résultats.

a) Interprétation.

Ne pouvant discuter chaque cas en détail, nous nous limiterons aux patients opérés et à ceux chez lesquels nous avons conclu à une contrindication opératoire.

L'étude préopératoire des différentes valeurs enregistrées et calculées chez les 20 sujets examinés, nous a amenés à conclure que l'intervention proposée : était contrindiquée dans 2 cas ;
n'était pas contrindiquée dans 8 cas ;
était discutable dans 3 cas ;
devait absolument être économique dans 7 cas.

Les 2 contrindications concernaient les cas 5 et 9. Chez le premier, l'occlusion de l'artère pulmonaire était mal supportée au point de vue respiratoire, puisqu'elle entraînait une chute de la saturation oxyhémoglobinée, déjà précédemment un peu basse, du sang artériel (93 % à 90 %), qui s'aggravait nettement à l'effort (82 %).

Chez le second, on notait également lors de l'occlusion, une chute de la saturation oxyhémoglobinée, précédemment normale, du sang artériel (97 % à 94 %), qui s'aggravait encore à l'effort le ballonnet restant gonflé (88 %), pour remonter par contre lorsqu'on dégonflait le ballonnet (94 %). En outre, la tension artérielle pulmonaire, qui n'augmentait que très peu lors de l'occlusion au repos (20 mm Hg à 23 mm Hg), s'élevait notablement à l'effort ballonnet gonflé (39 mm Hg), pour ne

pas retourner à sa valeur de départ lorsqu'on dégonflait le ballonnet mais que le malade poursuivait l'effort (27 mm Hg). Enfin, l'équivalent ventilatoire pour l'oxygène était anormalement élevé dans les 4 conditions de l'examen (3,6 ; 3,5 ; 3,5 ; 3,8).

Ces deux patients n'ont pas été opérés.

Parmi les **8 cas où l'intervention n'était pas contrindiquée,** un patient (cas 14) a refusé l'opération proposée. Les 7 autres ont été opérés, et l'on constate ce qui suit :

— 4 succès (cas 2, 3, 12 et 18). Sans insister à leur sujet, nous nous contenterons de dire que les valeurs enregistrées et calculées nous ont paru compatibles avec une indication sans réserves à l'intervention proposée. Ces patients se portent tous bien et ne présentent en particulier aucun symptôme d'insuffisance cardiaque ou respiratoire, après un délai variant de 5 mois à 14 mois après l'opération.

— 1 patient (cas 15) s'est révélé inopérable en cours de thoracotomie.

— 1 patient (cas 7) est décédé 3 mois après l'opération de métastases généralisées. Il faut relever le fait qu'il n'a pas présenté d'insuffisance du cœur droit, et que sa mort n'est due ni à une insuffisance respiratoire, ni à une insuffisance cardiaque.

— 1 patient (cas 1) a tout d'abord bien supporté une pneumonectomie gauche, mais est décédé 11 mois après l'intervention d'insuffisance cardio-respiratoire. Il nous paraît particulièrement intéressant de noter que ce cas ne se signalait par aucune modification pathologique respiratoire ou hémodynamique, à l'épreuve de Hanson, dans toutes les situations discutées.

Parmi les **3 cas où l'intervention nous apparaissait discutable,** un patient (cas 4) a refusé l'opération proposée.

Dans le cas 20, les médecins traitants ont renoncé à l'intervention projetée parce qu'il s'agissait d'une silico-tuberculose d'une part, à cause du résultat de l'épreuve de Hanson d'autre part. En effet, on notait une hypertension artérielle pulmonaire pathologique au repos (25 mm Hg) et à l'effort (35 mm Hg), non modifiée par l'occlusion pulmonaire (respectivement 25 et 38 mm Hg) et une désaturation oxyhémoglobinée du sang artériel au repos (80 %) et à l'effort (89 %), non améliorée par l'occlusion dans les deux cas (respectivement 82 % et 84 %).

Un patient (cas 13) a été déclaré inopérable en cours de thoracotomie.

Pour les **7 cas où l'intervention devait être économique au vu des examens fonctionnels :**

— chez un patient (cas 8), les médecins traitants ont renoncé à l'intervention projetée, à cause des résultats de l'épreuve de Hanson. On constatait essentiellement une augmentation importante de la tension artérielle pulmonaire au moment de l'occlusion (20 mm Hg à 33 mm Hg).

— parmi les 6 sujets opérés, on notait :

1) 3 succès. Le premier (cas 10) se signalait par une légère hypertension artérielle pulmonaire au repos (20 mm Hg), qui s'accentuait lors de l'occlusion (26 mm Hg), et encore davantage à l'effort ballonnet gonflé (32 mm Hg) ; il existait en outre une désaturation oxyhémoglobinée du sang artériel au repos (91 %), qui ne se modifiait pas lors de l'obstruction ni à l'effort ballonnet dégonflé, mais par contre s'accentuait nettement en E1 (85 %); enfin, l'équivalent ventilatoire pour l'oxygène était trop élevé dans toutes les conditions de l'examen (3,4; 3,5; 3,4; 3,3). Chez le second (cas 11), on notait une augmentation de la tension arérielle pulmnaire en R2 (24 mm Hg) et E1 (31 mm Hg), et une désaturation oxyhémoglobinée du sang artériel en E1 (91%). Chez le 3e (cas 16), l'occlusion pulmonaire controlatérale ne montrait rien de pathologique ; nous avons néanmoins demandé une intervention économique vu l'intégrité fonctionnelle du lobe inférieur gauche.

Ces 3 patients, chez lesquels l'intervention a été aussi économique que possible, se portent bien et ne présentent en particulier aucun signe d'insuffisance cardiaque ou respiratoire, dans un délai de 2 à 10 mois après l'intervention.

2) un patient (cas 6) est décédé en cours de thoracotomie, par arrêt cardiaque imputé à la narcose. On remarquait à l'épreuve de Hanson essentiellement une hyperpnée au repos (Eq. 02 à 3,1), qui s'aggravait lors de l'occlusion (4,2), pour diminuer à l'effort (3,4), et une désaturation oxyhémoglobinée du sang artériel au repos (91 %), qui se corrigeait lors de l'occlusion (96 %), mais réapparaissait à l'effort ballonnet gonflé (89 %). D'après les examens spirographiques globaux, ce patient était un emphysémateux grave dont la ventilation maxima mesurée n'était que de 53 litres/min., pour une valeur théorique de 110 litres/min., chez lequel le volume expiratoire maximum/seconde ne représentait que le 54 % de la capacité vitale.

3) deux patients sont décédés d'insuffisance cardiaque peu après l'opération :

— le premier (cas 19) se signalait, d'une part par une hypertension artérielle pulmonaire légère au repos (18 mm Hg) mais nettement aggravée par l'obturation (30 mm Hg) et l'effort (43 mm Hg), d'autre part par une désaturation oxyhémoglobinée

du sang artériel au repos (91 %), guère modifiée par l'occlusion pulmonaire (90 %), mais aggravée par l'effort (88 %).

— chez le second (cas 17), on notait essentiellement, d'une part une désaturation oxyhémoglobinée du sang artériel au repos (87 %) qui ne s'aggravait pas lors de l'occlusion (87 %) mais se corrigeait partiellement à l'effort ballonnet gonflé (91 %), d'autre part un débit cardiaque élevé au repos (10,2 litres/min.) qui s'abaissait nettement lors de l'occlusion (8,8 litres/min.).

Nous aurons l'occasion de revenir ultérieurement sur ces deux cas particulièrement instructifs.

b) **Comparaison des résultats obtenus par les examens spirographiques et par l'épreuve de Hanson.**

A propos des examens spirographiques, en excluant le cas 5 chez lequel les valeurs théoriques manquent, quelques remarques préliminaires s'imposent.

Nous n'avons constaté une amputation de la capacité vitale supérieure à 50 % par rapport aux valeurs théoriques que dans deux cas sur 19 ; un patient seulement présentait une capacité vitale (1200 cm3) voisine de la valeur limite qui, comme nous l'avons vu, contrindique toute thoracotomie. Par contre, chez 11 patients sur 19, l'amputation de la ventilation maxima était supérieure à 50 % (maximum observé : 78 %) par rapport aux valeurs théoriques ; chez 2 sujets, la ventilation maxima était voisine de la valeur limite qui contrindique toute thoracotomie (34 lt/min. et 33 lt/min.); chez 2 autres, la ventilation maxima était inférieure à cette valeur limite (28 lt/min. et 29 lt/min.). Sur les 15 sujets dont le métabolisme au repos a été enregistré, l'équivalent ventilatoire pour l'oxygène était nettement pathologique dans 7 cas (maximum observé : 4,4). Chez les 13 patients où le test de Tiffeneau a été pratiqué, le rapport VEMS/CV fois 100 était situé en-dessous de la limite admise pour l'âge dans 9 cas (minimum observé : 40 %).

Ceci confirme ce que nous disions au sujet du matériel examiné, à savoir qu'il s'agit, dans la majorité des cas, de patients emphysémateux.

La comparaison entre les examens spirographiques et l'épreuve de Hanson s'avère difficile, parce que dans certains cas nous n'avons pas pratiqué tous les examens spirographiques, comme nous l'avons indiqué dans notre casuistique. Elle permet néanmoins de constater que, dans la majorité des cas, les indications fournies par les examens spirographiques et par l'épreuve de Hanson amènent à des conclusions analogues :

1) parfois l'épreuve de Hanson confirme les impressions tirées des examens spirographiques :

— dans les cas 2, 7 et 15, où les examens spirographiques et l'épreuve de Hanson ne montraient rien de pathologique, nous avons pu conclure que l'intervention proposée n'était pas contrindiquée.

— dans le cas 13, l'amputation de la capacité vitale de 55 % et de la ventilation maxima de 60 % par rapport aux valeurs théoriques d'une part, l'augmentation de la tension artérielle et de la résistance pulmonaire lors de l'occlusion de l'artère pulmonaire d'autre part, permettaient de conclure que l'intervention proposée s'accompagnerait d'un risque certain.

2) souvent l'épreuve de Hanson apporte un complément très précieux aux impressions tirées des examens spirographiques :

— dans les cas 4 et 18, destinés à une bilobectomie et à une pneumonectomie respectivement, les examens spirographiques ayant révélé une amputation de la capacité vitale et de la ventilation maxima voisine de 50 % par rapport aux valeurs théoriques, il aurait été difficile de conclure formellement que l'intervention proposée n'était pas contrindiquée sans l'assurance que l'occlusion de l'artère pulmonaire n'entraînait pas d'insuffisance respiratoire ou circulatoire.

— à propos des cas 6, 8, 10, 11 et 19, où nous constatons une amputation importante (plus de 50 %) de la ventilation maxima par rapport aux valeurs théoriques, c'est l'épreuve de Hanson, en montrant des signes d'insuffisance respiratoire ou circulatoire lors de l'occlusion de l'artère pulmonaire et à l'effort, qui a permis de conclure que l'intervention proposée, sans être contrindiquée, devait absolument être limitée.

Pour quelques patients, les indications fournies par les examens spirographiques et par l'épreuve de Hanson amènent à des conclusions nettement opposées :

1) dans le cas 9, alors qu'on notait une réduction de la capacité vitale et de la ventilation maxima certaine mais compatible avec une pneumonectomie, ainsi que des signes probables d'emphysème, l'épreuve de Hanson faisait apparaître une désaturation oxyhémoglobinée du sang artériel et une hypertension artérielle pulmonaire telles que nous avons considéré que l'intervention envisagée était contrindiquée.

2) dans le cas 17, il n'y avait pas d'amputation marquée de la capacité vitale ni de la ventilation maxima. Cependant, la constatation d'une désaturation oxyhémoglobinée du sang artériel, non modifiée par l'occlusion de l'artère pulmonaire, nous a amenés à conclure que l'intervention envisagée devait être économique Il faut préciser que dans ce cas, l'examen fonctionnel

ne comportait pas d'enregistrement du métabolisme au repos avant cathétérisme ni d'épreuve de Tiffeneau.

3) dans les cas 12, 14 et 16, l'occlusion de l'artère pulmonaire était bien supportée tant au point de vue respiratoire qu'au point de vue hémodynamique, malgré une amputation de la ventilation maxima égale ou supérieure à 60 % par rapport aux valeurs théoriques.

Une relation semble établie entre la présence d'une amputation marquée de la ventilation maxima associée ou non à une diminution du rapport VEMS/CV fois 100 et l'existence d'une hypertension artérielle pulmonaire. En effet, parmi les 15 sujets où nous avons constaté une hypertension artérielle pulmonaire en R1, dans 10 cas il existait une amputation marquée de la ventilation maxima, dans 9 cas une épreuve de Tiffeneau pathologique, et dans 7 cas simultanément les deux. Parmi les 5 cas restants, qui ne présentaient pas d'hypertension artérielle pulmonaire en R1, nous n'avons constaté ni amputation de la capacité vitale ou de la ventilation maxima, ni modification du rapport VEMS/CV fois 100.

c) **Comparaison des résultats obtenus par la bronchospirométrie et par l'épreuve de Hanson.**

Comme nous l'avons noté dans notre casuistique, parmi les 6 patients examinés par bronchospirométrie, chez 2 seulement, les tracés recueillis sont interprétables sans restriction.

Dans le cas 12, la bronchospirométrie permettait de dire que le poumon gauche était pratiquement dépourvu de toute fonction respiratoire. En effet, à gauche, la consommation d'oxygène était nulle, tandis que la capacité vitale était de 60 cc, pour des valeurs globales de 290 cc et 1860 cc respectivement. L'occlusion pulmonaire gauche fut bien supportée tant au point de vue respiratoire qu'au point de vue circulatoire.

Dans le cas 5, la bronchospirométrie montrait que la participation fonctionnelle du poumon droit destiné à être enlevé, était d'environ 40 %, tant pour la ventilation que pour la consommation d'oxygène, soit relativement importante. L'occlusion pulmonaire droite, relativement bien supportée au point de vue circulatoire puisqu'elle entraînait seulement une augmentation peu prononcée de la tension artérielle pulmonaire moyenne, était mal tolérée au point de vue respiratoire ; on notait en effet une aggravation nette de la désaturation oxyhémoglobinée du sang artériel.

Dans ces deux cas, les indications fournies par la bronchospirométrie et par l'épreuve de Hanson amènent à des conclusions analogues. Le matériel est bien entendu insuffisant, et

nous regrettons de ne pas avoir pu procéder à une bronchispirométrie dans un plus grand nombre de cas.

d) **Comparaison entre les prévisions tirées de l'épreuve de Hanson et les renseignements catamnestiques, chez les sujets ayant subi une exérèse.**

Parmi les 14 patients opérés, l'un (cas 6) est décédé en cours de thoracotomie d'un arrêt cardiaque, imputé à la narcose, que les examens fonctionnels ne permettaient pas de prévoir. Un autre (cas 7) est décédé de métastases généralisées 3 mois après une pneumonectomie, sans avoir présenté aucun symptôme d'insuffisance cardiaque ou respiratoire. Enfin, deux patients (cas 13 et 15) ont été déclarés inopérables en cours de thoracotomie.

Parmi les 10 patients qui ont subi une exérèse :

1) 7 sont en vie (cas 2, 3, 10, 11, 12, 16 et 18). Ils ne présentent aucun signe clinique de récidive ou extension de la maladie primitive d'une part, et aucun symptôme d'insuffisance cardiaque ou respiratoire d'autre part, dans un délai qui varie entre 2 et 14 mois après l'intervention. Chez 4 patients (cas 2, 3, 12 et 18), nous avions conclu que l'intervention proposée n'était pas contrindiquée. Chez les 3 autres (cas 10, 11 et 16), nous avions émis une réserve et l'intervention a été aussi économique que possible.

2) 3 patients sont décédés d'insuffisance cardiaque postopératoire :

Dans le cas 1, le décès, survenu 11 mois après pneumonectomie gauche pour cancer bronchique, n'était pas prévisible par les résultats de l'épreuve de Hanson qui ne montrait rien d'anormal.

Le cas 19 est décédé 36 jours après une exérèse portant sur le lobe supérieur droit et le segment de Nelson, pour tuberculose. Nous sommes actuellement convaincus que ce patient, dont les « réserves ventilatoires » étaient très pauvres, n'aurait pas dû être opéré. Les conclusions que nous avions tirées de l'épreuve de Hanson, étaient certainement trop optimistes. Nous rappellerons néanmoins que l'insuffisance cardiaque est apparue dès la survenance de complications postopératoires sérieuses : empyème avec fistule broncho-pleurale et déhiscence pariétale. Il est donc difficile de dire, si, en l'absence de complication, le malade serait décédé d'insuffisance respiratoire.

A propos du cas 17 enfin, décédé 19 jours après une pleuropneumonectomie droite pour tuberculose, nous nous contenterons de rappeler que, d'après nos conclusions, l'intervention devait absolument être économique. Chez ce patient également,

l'insuffisance cardiaque s'est manifestée après l'apparition de complications postopératoires sérieuses : déshydratation avec anurie, puis encombrement bronchique, bronchopneumonie, fistulisation du moignon bronchique et empyème de nécessité.

En conclusion, l'évaluation du risque opératoire telle qu'elle ressort de nos examens préopératoires se trouve vérifiée par la réalité catamnestique chez tous les patients sauf un (cas 1).

e) **Intérêt de l'épreuve d'effort associée à l'occlusion pulmonaire.**

Rappelons que nous avons pratiqué une épreuve d'effort dans 13 cas avec, dans 8 cas seulement, un enregistrement valable des différentes valeurs ballonnet dégonflé (E2).

Nous pouvons faire les remarques suivantes concernant l'épreuve d'effort :

1) chez 5 patients (cas 3, 7, 12, 15 et 18), elle a renforcé notre opinion qu'il n'y avait pas de contrindication, les valeurs enregistrées alors restant dans les limites considérées comme admissibles. L'indication fournie par une épreuve d'effort dans ces conditions peut être interprétée sans restriction comme un élément favorable.

2) chez 2 patients (cas 5 et 9), elle a renforcé notre opinion qu'il y avait une contrindication, dans la mesure où elle a montré l'aggravation d'une insuffisance respiratoire déjà présente au repos. Mais nous ne pouvons affirmer aujourd'hui, faute de preuve, que nous avons eu raison de poser une telle contrindication.

3) chez 3 patients (cas 10, 17 et 19), elle a renforcé notre opinion que l'intervention devait être aussi économique que possible, en confirmant une insuffisance respiratoire seulement esquissée au repos.

4) chez 2 patients (cas 6 et 11), en faisant apparaître une insuffisance respiratoire qui n'existait pas au repos, elle nous a amenés à conclure que l'intervention devait être aussi économique que possible.

5) dans le cas 20, en montrant entre autre l'aggravation d'une hypertension artérielle pulmonaire préexistante en R1 et R2, elle nous a autorisés à dire que l'intervention envisagée paraissait discutable.

Nous pensons que ces quelques cas suffisent à démontrer l'utilité d'une épreuve d'effort associée à l'occlusion pulmonaire, bien que l'absence de valeurs normales enlève pour l'instant à cette épreuve une grande part de sa signification.

f) **Evolution des différentes variables mesurées au cours de l'examen (de R1 à E2).**

Nous avons procédé à une étude statistique de toutes les valeurs enregistrées et calculées. Notre méthode a consisté à comparer ces valeurs dans les différentes conditions de l'examen, soit au repos ballonnet non gonflé (R1) puis ballonnet gonflé (R2), et à l'effort ballonnet gonflé (E1) puis ballonnet dégonflé (E2). Au repos, la statistique porte sur 20 sujets pour toutes les valeurs sauf PmAH (19 sujets). A l'effort, elle porte sur 8 sujets pour toutes les valeurs sauf $\bar{Sv}$, $\bar{Sa}$, Cap. $\bar{a}$, $\dot{Q}$, r. P. (7 sujets) et PmAH (6 sujets).

Nous avons tout d'abord établi la **valeur moyenne.** Nous avons ensuite déterminé l'**erreur probable** au moyen de la formule suivante :

$$\Sigma = \pm\sqrt{\frac{\Sigma\ e^2}{n(n-1)}}$$

Nous avons enfin analysé statistiquement par le test t la **signification** des différences observées en comparant la valeur moyenne à zéro.

Cette étude montre que l'occlusion temporaire unilatérale de l'artère pulmonaire entraîne des modifications de la ventilation, des échanges gazeux et de l'hémodynamique au repos, de la ventilation et de l'hémodynamique à l'effort. Ces modifications étant statistiquement significatives, nous allons tenter de les interpréter.

1. Pourquoi l'occlusion temporaire unilatérale de l'artère pulmonaire entraîne-t-elle des modifications des échanges gazeux au repos, dans le sens d'une augmentation de la consommation d'oxygène et de l'élimination de gaz carbonique ?

Il est possible d'expliquer qualitativement ce phénomène. D'une part, on peut admettre que la quantité d'air à caractéristiques alvéolaires, contenue dans un poumon, tend à acquérir les caractéristiques de l'air inspiré lorsqu'on supprime la circulation dans ce même poumon tout en maintenant la ventilation. D'autre part, la masse sanguine qui stagne dans ce poumon, s'équilibrant avec de l'air atmosphérique, acquiert à son tour des caractéristiques nouvelles se traduisant par un abaissement de la tension partielle en gaz carbonique et une augmentation de la tension partielle en oxygène. Jusqu'à ce que ce nouvel équilibre soit atteint, une augmentation des échanges gazeux, soit de la prise d'oxygène et de l'élimination de gaz carbonique, est sans autre explicable, sans que pour autant il faille considérer qu'elles sont l'expression d'une augmentation réelle du métabolisme. S'il en est bien ainsi, l'enregistrement

prolongé des échanges gazeux au métabographe de Fleisch après obturation de l'artère pulmonaire devrait montrer un retour progressif aux valeurs antérieures à l'obturation. Des expériences actuellement en cours permettront de répondre à cette question.

Cette hypothèse nous paraît satisfaisante. Cependant, ne connaissant pas la masse sanguine ni la capacité résiduelle fonctionnelle du poumon dont la circulation est supprimée, ni ses valeurs de pO_2 et de pCO_2 alvéolaires avant l'obturation, nous ne sommes pas à même de savoir si les modifications observées correspondent quantitativement à ce qu'on pourrait attendre des changements du contenu gazeux dans le poumon dont l'artère a été soumise à l'occlusion et le sang mis en équilibre avec l'air extérieur.

S'il n'apparaît pas de modifications inverses significatives des échanges gazeux à l'effort lorsqu'on dégonfle le ballonnet, c'est probablement parce que la réserve d'air à caractéristiques atmosphériques contenue dans le poumon dont la circulation est supprimée, de même que la quantité de sang qui y stagne, sont dans ces conditions beaucoup plus petites par rapport aux volumes ventilés par unité de temps, et par rapport au débit cardiaque, que dans les conditions de repos et qu'ainsi la statistique dénie toute valeur à une modification qui existe dans 5 cas sur 8 pour l'oxygène.

2. Pourquoi l'occlusion temporaire unilatérale de l'artère pulmonaire entraîne-t-elle des modifications hémodynamiques dans le sens d'une augmentation de la tension artérielle humérale et pulmonaire et de la résistance pulmonaire au repos, de la tension artérielle pulmonaire et de la résistance pulmonaire à l'effort ?

Les expériences réalisées chez le chien par Kinney, Hellems et Dexter en 1947, de même que celles de Carlens, Hanson et Nordenström en 1951 chez le chien et chez des patients qui présentaient une atteinte pulmonaire unilatérale, confirment en général l'absence de modifications hémodynamiques durables lors de l'occlusion temporaire unilatérale de l'artère pulmonaire, pour autant que cette dernière n'intéresse certainement pas le tronc pulmonaire.

Riley et al. ont étudié l'effet de l'effort sur la pression artérielle et la résistance pulmonaire. Ils ont montré qu'une augmentation de la consommation d'oxygène égale à 6 fois sa valeur de repos et correspondant à une augmentation du débit cardiaque égale à plus de 2 fois sa valeur de repos, n'entraîne pas de modification significative de la pression artérielle pul-

monaire, tandis que la résistance pulmonaire s'abaisse au tiers de sa valeur de repos.*)

Dans notre casuistique, nous n'avons jamais noté, lors de l'occlusion unilatérale de l'artère pulmonaire, une augmentation de la consommation d'oxygène et du débit cardiaque égale ou supérieure à celle que Riley et al. ont réalisée. L'augmentation significative de la tension artérielle pulmonaire que nous avons observée entre R1 et R2 s'explique par le fait que la majorité de nos sujets se trouvaient au repos et avant l'occlusion de l'artère pulmonaire déjà dans des conditions hémodynamiques particulières traduisant une restriction capillaire déjà dans ces conditions et probablement parce que le poumon restant n'était pas sain. D'ailleurs, un seul de nos sujets avait une tension artérielle pulmonaire moyenne égale à 13 mm Hg en R1 ; dans 7 cas, cette valeur se situait entre 15 et 17 mm Hg et chez tous les autres, elle était supérieure à 17 mm Hg. Ainsi, même si nous admettons pour mettre les choses au mieux que la moitié du débit pulmonaire passait dans le poumon à opérer, l'exclusion circulatoire n'aurait pas dû entraîner une hypertension artérielle pulmonaire si l'autre poumon avait été sain. Nos constatations montrent que le système artériolaire du poumon restant ne permettait pas d'accepter la totalité du débit pulmonaire sans nouvelle augmentation tensionnelle. Nous ne pouvons fournir aucune explication à l'augmentation parallèle de la tension artérielle humérale. Par contre, l'augmentation de la tension artérielle pulmonaire a forcément pour conséquence une augmentation de la résistance pulmonaire.

Ces remarques ne sont évidemment pas valables pour le cas 14 où la situation est totalement modifiée par l'existence d'un shunt artério-veineux anatomique.

3. L'augmentation de la ventilation lors de l'occlusion pulmonaire unilatérale n'est pas étonnante. Ce qui par contre est surprenant, c'est que la variation observée soit si petite. On peut imaginer que l'occlusion pulmonaire unilatérale réalise, comme l'effort, une augmentation du débit dans le poumon

*) C'est pour tenir compte de ces faits que nous avons soumis nos patients à un effort égal ou inférieur à 40 watts. Cet effort correspond à une augmentation de la consommation d'oxygène de 520 à 600 cm3/minute (130 à 150 cm3/min. pour 10 watts). Ferrer et al. ont montré qu'à toute augmentation de la consommation d'oxygène de 100 cm3/min. correspond une augmentation du débit cardiaque de 600 à 800 cm3/min. Ainsi, chez l'individu normal, un effort de 40 watts, avec l'augmentation de 3,6 lt./min. du débit cardiaque qu'il implique (soit certainement inférieure à 2 fois et demi la valeur de repos) ne doit entraîner à lui seul aucune modification de la pression artérielle pulmonaire.

non exclu qui tend à augmenter le coefficient de diffusion dans ce poumon par ouverture de capillaires pulmonaires jusqu'ici fermés. Les modifications respectives de l'équivalent ventilatoire pour l'oxygène dans chacun des deux poumons se faisant de telle manière que l'équivalent global reste inchangé, tout se passe comme si le poumon dont la circulation est supprimée et dont la ventilation se fait « à vide » voyait son équivalent ventilatoire pour l'oxygène devenu infiniment grand, compensé par un abaissement de l'équivalent dans l'autre poumon. Or, comme celui-ci abaisse son équivalent sans que les valeurs de la saturation oxyhémoglobinée du sang artériel s'abaissent, il faut admettre que cette adaptation se fait sans insuffisance respiratoire, soit sans modification notable des pO_2 et pCO_2 alvéolaires. La seule explication de cette augmentation du coefficient de diffusion dans le poumon non exclu, est l'ouverture de nouveaux capillaires pulmonaires. Nous n'avons pas rapporté dans ce travail les valeurs de pCO_2 artérielles calculées selon l'équation de Hasselbach-Henderson, mais nous pouvons dire qu'il n'y a pas de variation de la $p\bar{a}CO_2$ consécutive à l'occlusion de l'artère pulmonaire. D'ailleurs, l'examen des enregistrements de bronchospirométrie pratiqués avant et pendant l'occlusion temporaire unilatérale de l'artère pulmonaire par Hanson montre de façon certaine que l'équivalent ventilatoire pour l'oxygène dans le poumon dont la circulation est supprimée tend vers une valeur infiniment grande.

Relevons encore le fait que la ventilation est la seule valeur qui augmente entre E1 et E2. Cette augmentation, qui est d'ailleurs plus faible que celle observée entre R1 et R2, correspond probablement à une augmentation réelle dans la majorité des cas mais non significative du quotient respiratoire.

g) **Complications.**

Dans tous les cas relatés, l'examen a été bien supporté et ne s'est accompagné d'aucune complication opératoire ou postopératoire. L'occlusion pulmonaire n'a jamais causé la moindre douleur et, dans la plupart des cas, elle n'a occasionné aucune gêne. Certains sujets ont mentionné une impression de constriction thoracique, s'accompagnant parfois d'une discrète dyspnée ou d'angoisse. Ces symptômes ont disparu rapidement et spontanément ; ils n'ont pas empêché la continuation de l'examen.

Depuis qu'ils prennent la précaution de liquéminer soigneusement le cathéter avant son emploi, les opérateurs n'ont jamais remarqué de caillots de sang sur la sonde, en particulier au niveau des attaches du ballonnet, comme les auteurs en ont décrit.

L'enregistrement continu du tracé électrocardiographique

permet d'affirmer l'absence de toute modification au moment et pendant l'occlusion pulmonaire dans tous les cas. Les précautions indiquées par Hanson et al., en vue d'éviter une pression du cathéter sur le cœur droit, ayant été respectées, il n'est jamais survenu d'arythmie.

Aucun incident technique, tel que rupture du ballonnet n'a été observé chez les cas relatés ici. La localisation exacte du ballonnet dans l'artère pulmonaire s'est avérée difficile à deux reprises. Chez un patient, l'emploi d'une seconde sonde plus grosse a facilité l'opération. Chez un autre, il a fallu se contenter de procéder à l'occlusion du poumon sain. Contrairement à ce que signalent parfois Hanson et al., il n'y a jamais eu de difficultés pour vider le ballonnet au moment voulu.

4. Validité de la méthode.

Théoriquement, l'épreuve de Hanson satisfait à toutes les exigences que nous avons énoncées à propos d'un examen « idéal » de la fonction cardio-respiratoire. Par un examen unique et d'une durée relativement courte, elle est capable de donner le plus grand nombre de renseignements simultanés possibles sur la ventilation, les échanges gazeux, les tensions partielles gazeuses sanguines et l'état hémodynamique du patient, dans des conditions qui se rapprochent au maximum de l'état postopératoire, non seulement au repos, mais encore à l'effort.

Notre casuistique permet-elle d'affirmer que l'épreuve de Hanson satisfait **pratiquement** à ces exigences ?

Elle est bien supportée dans tous les cas et peut être poursuivie assez longtemps pour permettre l'enregistrement de toutes les valeurs utiles, tant au repos qu'à l'effort.

En ce qui concerne l'interprétation des résultats, en vue de l'indication opératoire d'une part, et de l'évaluation du pronostic postopératoire d'autre part, il n'est pas possible de conclure actuellement pour diverses raisons. Le matériel examiné est certainement insuffisant. Nous ne disposons pas d'examens d'occlusion réalisés chez des sujets normaux, susceptibles de permettre l'établissement de valeurs normales moyennes précises dans toutes les conditions requises. Nous n'avons pas eu la possibilité de procéder à des examens fonctionnels postopératoires ; d'ailleurs, dans un certain nombre de cas, la catamnèse est trop courte. Plusieurs facteurs rendent difficile l'appréciation du pronostic postopératoire : l'existence ou non de complications per- ou postopératoires, l'évolution de la maladie causale, l'âge du patient, son genre de vie, etc. Ainsi, les résultats obtenus paraissent parfois un peu déroutants. Dans le cas 1 par exemple, rien à l'épreuve de Hanson ne laissait prévoir un décès par insuffisance cardiaque. Ce cas donne peut-être une idée

des limites de la méthode ; la catamnèse n'est cependant pas suffisamment détaillée pour que nous puissions être affirmatifs. L'apparition d'une hypertension artérielle pulmonaire lors de l'occlusion, ne semble pas constituer toujours un élément défavorable à brève échéance tout au moins, comme on aurait pu le penser à priori : une patiente (cas 18) supporte bien une pneumonectomie en dépit d'une hypertension artérielle pulmonaire. Les mêmes constatations semblent également valables pour la saturation oxyhémoglobinée du sang artériel : le cas 12 par exemple, supporte bien une pleuro-pneumonectomie malgré la présence d'une désaturation oxyhémoglobinée dans les 3 conditions de l'examen.

Ainsi, d'une part les normes manquent, d'autre part nous ne sommes pas absolument certains que les valeurs considérées comme les plus importantes (équivalent ventilatoire pour l'oxygène, saturation oxyhémoglobinée, tension artérielle pulmonaire, débit cardiaque et résistance pulmonaire) et sur lesquelles se fonde l'interprétation du cas, soient toujours décisives. En particulier il n'est pas certain qu'une hypertension artérielle pulmonaire avant l'occlusion pulmonaire ou contemporaine de celle-ci, soit toujours un élément pronostique défavorable. Enfin, il faut encore relever le fait que l'occlusion unilatérale de l'artère pulmonaire crée des conditions très probablement plus défavorables qu'une pneumonectomie, vu l'augmentation de l'espace mort consécutif à une suppression strictement circulatoire. Pour cette raison d'ailleurs, les valeurs de l'équivalent ventilatoire pour l'oxygène pendant l'occlusion sont difficilement interprétables. Nous pensons néanmoins, puisque le quotient respiratoire ne se modifie pratiquement pas dans ces conditions, que l'équivalent baisse dans le poumon irrigué.

Malgré la difficulté qu'il existe à interpréter certains résultats, l'épreuve de Hanson donne des renseignements décisifs dans plusieurs cas limites. Nous sommes ainsi convaincus que cette méthode, qui constitue pour le moment l'examen fonctionnel cardio-respiratoire préopératoire le plus complet, vaut la peine d'être poursuivie.

5. L'occlusion partielle de l'artère pulmonaire.

N'ayant pas eu l'occasion de pratiquer l'occlusion partielle parce que, dans tous les cas examinés, il a été possible d'effectuer une occlusion totale, nous ne pouvons nous prononcer sur la validité des résultats que cette méthode permet d'obtenir.

Nous pensons néanmoins, en nous plaçant sur le seul plan théorique, que les résultats obtenus ne peuvent être correctement interprétés que si la localisation de l'occlusion périphérique réalisée peut être exactement fixée.

V. CONCLUSIONS

L'examen détaillé des 20 cas qui font l'objet de cette étude permet les conclusions suivantes :

1. L'occlusion temporaire unilatérale de l'artère pulmonaire ne s'accompagne d'aucune complication, ce qui confirme les constatations de Hanson.

Nous relevons en effet l'absence de tout phénomène objectif grave tel que embolie pulmonaire, collapsus circulatoire, insuffisance cardiaque droite aiguë, insuffisance respiratoire aiguë ou fièvre soit pendant, soit après l'examen. Si nous nous souvenons que tous nos patients sont des pulmonaires graves dont l'âge moyen est de 47 ans, nous pouvons dire que l'épreuve de Hanson est praticable sans danger, non seulement chez le normal, mais aussi chez des malades qui présentent un important passé pulmonaire, même si le poumon qui ne doit pas être opéré n'est pas sain, et même si la participation aux échanges gazeux du poumon destiné à l'intervention est encore importante.

Le risque d'occlusion totale ou subtotale du tronc pulmonaire, mentionné par Lotter et Lucas, ne nous paraît pas devoir être pris en considération si la technique indiquée par Hanson est rigoureusement appliquée.

2. L'épreuve de Hanson est une méthode valable au point de vue clinique.

Chez 15 patients sur 20, les renseignements fournis par l'occlusion temporaire unilatérale de l'artère pulmonaire au repos et à l'effort apparaissent très précieux dans l'établissement des conditions d'opérabilité et du pronostic postopératoire pour chaque cas, puisqu'en confirmant les impressions tirées des examens spirographiques classiques ils apportent une sécurité supplémentaire.

Dans 5 cas nous avons cru pouvoir, après l'épreuve de Hanson, reconsidérer l'opérabilité dont les conditions apparaissaient, avant, tantôt favorables, tantôt défavorables. Dans les cas 12, 14 et 16, l'occlusion de l'artère pulmonaire était bien supportée à tous points de vue malgré une importante amputation des « réserves ventilatoires »; tandis que le cas 14 a refusé l'intervention proposée, l'évolution postopératoire des 2 autres patients a montré que notre appréciation était correcte. Dans le cas 17, chez lequel les tests spirographiques classiques

donnaient des résultats satisfaisants, l'épreuve de Hanson nous a amenés à conclure que l'intervention envisagée devait être absolument économique ; ce patient est décédé d'insuffisance cardio-respiratoire dans les suites immédiates d'une intervention non économique (pleuro-pneumonectomie) qui s'est accompagnée de graves complications. Dans le cas 9, alors qu'il existait une réduction de la capacité vitale et de la ventilation maxima certaine mais compatible avec une pneumonectomie, l'apparition au cours de l'épreuve de Hanson d'une insuffisance respiratoire et d'une hypertension artérielle pulmonaire nous a amenés à conclure que l'intervention proposée était contrindiquée ; ce patient n'ayant pas été opéré, nous ne pouvons affirmer que notre appréciation était correcte.

La comparaison des résultats obtenus par les examens spirographiques classiques et par l'épreuve de Hanson nous permet d'établir une relation entre la présence d'une amputation marquée des « réserves ventilatoires » et l'existence d'une hypertension artérielle pulmonaire.

Chez tous les patients opérés sauf 1, l'évolution opératoire et postopératoire montre que la manière dont nous avons évalué le risque opératoire en nous appuyant sur les tests spirographiques classiques et l'épreuve de Hanson était correcte.

3. Les conditions respiratoires et hémodynamiques particulières réalisées pour la première fois par l'occlusion temporaire unilatérale de l'artère pulmonaire ont déclenché des phénomènes d'adaptation circulatoire et ventilatoire extrêmement intéressants.

Il est sans doute difficile de tirer des conclusions sur une série de 20 sujets qui représentaient des conditions physiopathologiques différentes d'un cas à l'autre. Cependant, si nous excluons de notre série le malade chez lequel l'occlusion pulmonaire a porté sur le poumon qui ne devait pas être opéré et le cas d'anévrisme artério-veineux pulmonaire, nous sommes frappés par l'uniformité des mécanismes d'adaptation de la ventilation et de l'hémodynamique. Nous pouvions nous attendre à ce que la suppression de la circulation dans un poumon entier ait pour résultat une augmentation considérable de la ventilation globale, puisque dès l'occlusion un poumon entier ventile « à vide ». Il n'en a rien été. L'augmentation de la ventilation, bien qu'elle soit statistiquement significative, n'est que très faible puisqu'elle n'atteint que 3,77 % de la ventilation de base. Nous avons cru pouvoir expliquer au chapitre IV/B/3 f cette constatation étonnante par une modification du rapport ventilation/perfusion dans le poumon hyperirrigué, grâce à l'ouverture de capillaires jusqu'ici fermés, ayant pour conséquence

une diminution de l'espace mort physiologique dans ce poumon telle qu'elle compense presque complètement la ventilation « à vide » dans l'autre poumon. L'étude de sujets normaux au point de vue cardio-pulmonaire permettra sans doute de vérifier le bien-fondé de cette hypothèse.

L'espoir que nous avions en mai 1955 que l'épreuve de Hanson nous aide à mieux préciser l'opérabilité chez des patients devant subir une exérèse pulmonaire s'est donc jusqu'ici pleinement réalisé.

Si l'épreuve de Hanson est actuellement à notre avis la méthode qui se rapproche le plus de l'examen préopératoire « idéal », tel que nous l'avons défini, en matière de chirurgie d'exérèse pulmonaire, cela n'implique pas qu'elle doive, se substituer aux examens habituels qui ont fait leurs preuves, ou être pratiquée indistinctement dans tous les cas. Les différents examens cliniques, bactériologiques, radiologiques et éventuellement endoscopiques, nécessaires à préciser le diagnostic et la localisation topographique de la maladie en vue de l'indication à une thérapeutique chirurgicale ayant été effectués, la conduite à tenir nous paraît devoir être, très schématiquement, la suivante :

a) chez un sujet jeune, qui ne présente aucun signe clinique d'insuffisance respiratoire, et dont l'examen radioscopique montre toutes les caractéristiques d'une fonction normale, on peut à la rigueur se passer de tout autre examen. En fait, nous pensons qu'il est toujours utile de pratiquer une spirométrie globale (enregistrement de la capacité vitale et de la ventilation maxima) et un électrocardiogramme, pour disposer ultérieurement de bases de comparaison.

b) chez tout patient qui a dépassé la cinquantaine ou qui présente des signes cliniques d'insuffisance respiratoire, une spirographie comprenant toujours un test de Tiffeneau s'impose, avec ou sans examens complémentaires tels que métabolisme au repos, épreuve d'effort et oxymétrie.

c) nous pensons qu'un examen permettant d'apprécier la valeur fonctionnelle relative de chacun des deux poumons est indiqué dans les circonstances suivantes :

1. lorsque la fonction globale est très diminuée (amputation égale ou supérieure à 50 % de la capacité vitale et de la ventilation maxima par rapport aux valeurs théoriques).

2. lorsque l'intervention envisagée risque de sidérer momentanément la respiration d'un poumon entier (pneumothorax extrapleural, thoracoplastie, lobectomie) ou doit la supprimer définitivement (pneumonectomie), chez des patients dont la

fonction globale est atteinte, même très peu, et dont le poumon à opérer n'est pas un poumon « détruit ».

3. lorsqu'il existe des lésions ou des séquelles controlatérales susceptibles d'avoir un retentissement fonctionnel, même lorsque la fonction globale est relativement peu diminuée.

Si ces remarques sont valables pour les tuberculeux, à propos desquels la chirurgie thoracique ne constitue que rarement la dernière ressource thérapeutique, elles le sont moins pour les cancéreux. En matière de cancer bronchique en effet, la chirurgie est actuellement la seule thérapeutique possible ; dans ces conditions l'avenir fonctionnel lointain n'est plus au premier plan, et les indications à des examens fonctionnels complémentaires nous paraissent moins formelles.

De même, on pourra se passer de l'examen séparé dans certains cas de poumon tuberculeux « détruit », si l'autre poumon est radiologiquement sain ; on peut en effet alors admettre que seul le poumon sain fonctionne.

d) lorsqu'un examen de la fonction séparée de chaque poumon est indiqué, dans quels cas faut-il recourir à une bronchospirométrie, et dans quel cas à une épreuve de Hanson ?

L'épreuve de Hanson nous paraît indiquée chez les patients dont l'appréciation préopératoire nécessiterait plusieurs examens complémentaires successifs, tels que cathétérisme cardiaque, oxymétrie, épreuves d'effort et bronchospirométrie. Dans les cas d'anévrisme artério-veineux en outre, l'épreuve de Hanson constitue avec l'angiocardiographie la seule méthode capable de localiser exactement la lésion et d'affirmer qu'il n'en existe pas de l'autre côté. Enfin, une dernière catégorie d'indications est représentée par les contre-indications de la bronchospirométrie (maladies pulmonaires évolutives, hémoptysies récentes, lésions de la trachée et de la bronche souche gauche) d'une part, par les cas où la bronchospirométrie a échoué ou ne permet pas de tirer de conclusions valables d'autre part.

Les indications de la bronchospirométrie nous semblent se limiter ainsi aux cas où l'épreuve de Hanson a échoué, et à ceux où elle est contrindiquée. Les contre-indications de l'occlusion pulmonaire sont tout d'abord celles du cathétérisme cardiaque, à savoir : antécédents récents de tachycardie ventriculaire, occlusion coronaire récente, endocardite maligne, endocardite et myocardite rhumatismales en évolution, anxiété marquée, intoxication digitalique, modifications nouvelles à l'électrocardiogramme. Elles sont en-

suite représentées par les cas bilatéraux, dont la fonction respiratoire globale est si pauvre que l'occlusion pulmonaire unilatérale sera très probablement mal supportée, et chez lesquels l'exérèse pulmonaire sera sûrement partielle ; ces cas seront d'ailleurs peut-être à l'avenir, pour autant qu'une exérèse limitée soit envisagée, une indication à une occlusion pulmonaire partielle, lorsque cette méthode sera au point.

Le développement de la chirurgie thoracique a fait passer l'examen fonctionnel cardio-respiratoire d'un stade scientifique à un stade de nécessité clinique. Ces conditions créent des exigences nouvelles. Or, la complexité et l'interdépendance des fonctions cardiaque et pulmonaire font que l'appréciation préopératoire n'est possible, le plus souvent que par l'étude simultanée de la respiration et de la circulation. Dans la mesure où les interventions s'adressent de plus en plus souvent à des cas limites, soit à des patients dont les réserves fonctionnelles apparaissent très entamées, le bilan préopératoire est inévitablement complexe et compliqué. La complexité dépend du nombre de phénomènes physiologiques à étudier et la complication procède de la dépendance de techniques d'examen toujours plus nombreuses et plus délicates. Seule l'expérience, accumulée par l'étude préopératoire et le contrôle postopératoire d'un très grand nombre de patients, est à même de permettre une évaluation des possibilités et des risques dans chaque cas particulier.

RESUME

L'exploration fonctionnelle cardio-respiratoire a pris une grande importance clinique à la suite du développement de la chimiothérapie antituberculeuse et de la chirurgie thoracique. Les conditions requises par un examen « idéal » sont exposées. Un bref aperçu historique est donné, dans l'idée de montrer la nécessité d'appréhender le complexe « respiration » dans tous ses éléments et de comprendre en particulier la primauté des phénomènes circulatoires.

L'importance des principales méthodes d'examen global de la fonction cardio-respiratoire est relevée.

Les méthodes courantes d'exploration permettant d'apprécier la valeur fonctionnelle relative de chacun des deux poumons sont discutées et critiquées. Leur insuffisance est expliquée, et en particulier les raisons qui empêchent le plus souvent ces méthodes de répondre aux questions posées actuellement avant une exérèse pulmonaire, en ce qui concerne les conditions d'opérabilité et surtout le pronostic postopératoire fonctionnel.

La technique de l'occlusion temporaire unilatérale de l'artère pulmonaire au repos et à l'effort est exposée. Une casuistique est fournie, portant sur 20 patients examinés, et comprenant tous les résultats des examens globaux et de l'épreuve de Hanson, les renseignements opératoires et postopératoires chez les sujets qui ont subi une exérèse pulmonaire. Les résultats obtenus par la méthode d'occlusion pulmonaire sont interprétés puis discutés comparativement aux résultats obtenus par les examens spirographiques et bronchospirométriques et aux données catamnestiques ; l'intérêt de l'épreuve d'effort associée à l'occlusion pulmonaire est montré. Une étude statistique permet d'isoler les valeurs qui varient de façon significative au cours de l'examen ; quelques hypothèses susceptibles d'expliquer les modifications significatives observées sont envisagées. L'examen est généralement bien supporté et ne s'accompagne d'aucune complication, dans les cas relatés. La validité de la méthode est affirmée en dépit de la difficulté que pose actuellement l'interprétation de certains résultats. Seul un matériel plus abondant, comprenant en particulier des sujets normaux et des contrôles postopératoires, permettra des conclusions définitives.

Pour terminer, les indications respectives des différents examens préopératoires de fonction cardio-respiratoire sont indiquées de façon très schématique.

BIBLIOGRAPHIE

Arnaud J., Tulou P., Mérigot B. — L'exploration de la fonction respiratoire. Masson et Cie, Paris, 1947.

Atwell R.-J., Hickam J.-B., Pryor W.-W., Page E.-B. — Reduction of blood flow through the hypoxic lung. Am. J. Physiol., 166, 37, 1951.

Baudraz B., West R.-O., Desbaillets P., Rivier J.-L. — Examen de la fonction cardio-pulmonaire au repos et à l'effort. J. Suisse Méd., 23, 684, 1956.

Birath G., Crafoord C. — Function tests in pulmonary surgery. J. Thorac. Surg., 22, 414, 1951.

Björkman S. — Bronchospirometrie, eine klinische Methode die Funktion der menschlichen Lungen getrennt und gleichzeitig zu untersuchen. Acta Med. Scandin., suppl. 56, 1934.

Björkman S., Carlens E. — The lung function during rest and exercise in lung diseases. A bronchospirometric study. Acta Med. Scandin., suppl. 259, 63, 1951.

Björkman S., Carlens E. — Bronchospirometric examination during exercise. Acta Oto-laryngologica, suppl. XCV.

Bonelli L., Abzug L. — Alcuni aspetti della nostra esperienza negli esami bronchospirometrici. Giornale di Medicina e Tisiologia, 4, 375, 1955.

Braun P. — L'exploration fonctionnelle des poumons séparés par bronchospirométrie. Thèse, Nancy, 1951.

Brille D., Hatzfeld C. — L'exploration de la ventilation par l'examen radioscopique dynamique. Le Poumon et le Cœur, tome XI, 9, 865, 1955.

Cara M. — Introduction à l'étude de la fonction respiratoire. Le Poumon et le Cœur, tome XI, 9, 819, 1955.

Carlens E. — A new flexible double-lumen catheter for bronchospirometry. J. Thorac. Surg., 18, 742, 1949.

Carlens E., Hanson H.-E., Nordenström B. — Temporary unilateral occlusion of the pulmonary artery. J. Thorac. Surg., vol. 22, 5, 527, 1951.

Cournand A., Lequime J., Regniers P. — L'insuffisance cardiaque chronique. Etudes physiopathologiques. Masson et Cie, Paris, 1952.

Cournand A., Riley R.-L., Himmelstein A., Austrian R. — Pulmonary circulation and alveolar ventilation perfusion relationships after pneumonectomy. J. Thorac. Surg., 19, 80, 1949.

Dirken M.-N.-J., Heemstra H. — Alveolar oxygen tension and lung circulation. Quart. J. Experim. Physiol., 34, 193, 1948.

Dirken M.-N.-J., Heemstra H. — The adaptation of the lung circulation to the ventilation. Quart. J. Experim. Physiol., 34, 213, 1948.

Donald K.-W. — The definition and assesment of respiratory function. Brit. Med. J., vol. 1, 16, 1068, 1953.

Dufourt A. — Traité de phtisiologie clinique. Paris, 1946.

Duke H.-N. — The site of action of anoxia on the pulmonary blood vessels of the cat. J. Physiol., 125, 373, 1954.

Duke H.-N. — The action of carbon dioxide on isolated perfused dog lungs. Quart. J. Experim. Physiol., 35, 25, 1949.

Duke H.-N. — Pulmonary vasomotor responses of isolated perfused cat lungs to anoxia and hypercapnia. Quart. J. Experim. Physiol., 36, 75, 1950.

Duke H.-N., Killick E.-M. — Pulmonary vasomotor responses of isolated perfused cat lungs to anoxia. J. Physiol., 117, 303, 1952.

von Euler U.-S., Liljestrand G. — Observations on the pulmonary arterial blood pressure in the cat. Acta Physiol. Scandin., 12, 301, 1946.

Ferrer M.-I., Harvey R.-M., Catchart R.-T., Cournand A., Richards junior D.-W. — Hemodynamic studies in rheumatic heart disease. Circulation, vol. 6, 5, 689, 1952.

Fishman A.-P., Himmelstein A., Fritts H.-W., Cournand A. — Blood flow through each lung in man during unilateral hypoxia. J. Clin. Invest., vol. XXXIV, 4, 637, 1955.

Fleisch A. — Nouvelles méthodes d'étude des échanges gazeux et de la fonction pulmonaire. Schwabe et Cie, Bâle, 1954.

Gaensler E.-A. — Bronchospirometry I. Review of the literature. J. Lab. and Clin. Med., vol. 39, 6, 917, 1952.

Gaensler E.-A., Maloney J.-V., Björk V.-O. — Bronchospirometry II. Experimental observations and theoretical considerations of resistance breathing. J. Lab. and Clin. Med., vol. 39, 6, 935, 1952.

Gaensler E.-A., Watson T.-R. — Bronchospirometry III. Complications, contraindications, technique and interpretation. J. Lab. and Clin. Med., vol. 40, 2, 223, 1952.

Gaensler E.-A., Gugell D.-W. — Bronchospirometry IV. Ambient — air and oxygen — recording bronchospirometry. J. Lab. and Clin. Med., vol. 40, 3, 410, 1952.

Gaensler E.-A., Watson T.-R., Patton W.-E. — Bronchospirometry VI. Results of 1089 examinations. J. Lab. and Clin. Med., vol. 41, 3, 436, 1953.

Gaensler E.-A., Patton W.-E., Frank N.-R. — Bronchospirometry VII. Indications. J. Lab. and Clin. Med., vol. 41, 3, 456, 1953.

Gebauer P.-W. — A catheter for bronchospirometry. J. Thorac. Surg., 8, 674, 1939.

Gorlin R., Lewis B.-M. — Circulatory adjustments to hypoxia in dogs. J. Applied Physiol., 7, 180, 1954.

Hanson H.-E. — Temporary unilateral occlusion of the pulmonary artery in man. A method for preoperative determination of the function of each lung. Acta Chir. Scandin., suppl. 187, Stockholm 1954.

Heemstra H. — The development of an increased pulmonary vascular resistance by local hypoxia. Quart. J. Experim. Physiol., 39, 83, 1954.

Heemstra H. — Alveolaire Zuurstofspanning en Longcirculatie. Thèse, Groningen, 1948.

Jacob W. — Bronchospirometrie unter leichter Belastung. Beiträge zur Klinik der Tuberkulose, 113, 146, 1955.

Jacobaeus H.-C., Bruce T. — A bronchospirometric study on the ability of the human lungs to substitute for one another I. Acta Med. Scandin., 105, 193, 1940.

Jacobaeus H.-C., Bruce T. — A bronchospirometric study on the ability of the human lungs to substitute for one another II. Acta Med. Scandin., 105, 211, 1940.

Jacobaeus H.-C., Frenckner P., Björkman S. — Some attempts at determining the volume and function of each lung separately. Acta Med. Scandin., 79, 174, 1932.

Jéquier-Doge E. — A propos du déficit-oxygène. J. Suisse Med., 21, 13, 1950.

Lewis B.-M., Gorlin R. — Effects of graded hypoxemia on the pulmonary circulation of the dog. Moderate hypoxemia. Fed. Proceedings, vol. 11, 1, 93, 1952.

Di Maria G. — La valutazione fonzionale cardiorespiratoria negli interventi di chirurgia toracica. Giornale di Medicina e Tisiologia, 1, 13, 1955.

Di Maria G., Caracciolo M., Sciuto G. — La situazione funzionale respiratoria e cardiocirculatoria in soggetti operati di exeresi polmonare parziale o totale per tubercolosi polmonare cronica. Giornale di Medicina e Tisiologia, 4, 335, 1955.

Moore R.-H. — The volume of blood flow per minute through the lungs following collapse of one lung by bronchial occlusion. Arch. Surg., 22, 225, 1931.

Nisell O.-I. — The action of oxygen and carbon dioxide on the bronchioles and vessels of the isolated perfused lungs. Acta Physiol. Scandin., vol. 21, suppl. 73, 1950.

Nordenström B. — Temporary unilateral occlusion of the pulmonary artery, a method of roentgen examination of the pulmonary vessels. Acta Radiol., suppl. 108, Stockholm 1954.

Norris C.-M., Long J., Oppenheimer M.-J. — Bronchospirography ; apparatus and technique. J. Thorac. Surg., 17, 357, 1948.

Pappenheimer J.-R. et coll. — « Convention d'Atlantic City ». Fed. Proc., 9, 602, 1950.

Patton W.-E., Watson T.-R., Caensler E.-A. — Pulmonary function before and at intervals after surgical decortication of the lung. Surg., Gynec., and Obstr., 95, 477, 1952.

Peters R.-M., Roos A. — The effects of atelectasis on pulmonary blood flow in the dog. J. Thorac. Surg., 24, 389, 1952.

Peters R.-M., Roos A. — Effect of unilateral nitrogen breathing upon pulmonary blood flow. Am. J. Physiol., 171, 250, 1952.

Riley R.-L., Proemmel D.-D., Franke R.-E. — Direct method for determination of oxygen and carbon dioxide tensions in blood. J. Biol. Chem., 161, 621, 1945.

Roh C., Greene D., Himmelstein A., Humphreys G., Baldwin E. — Cardiopulmonary function studies in a patient with ligation of the left pulmonary artery. Am. J. Med., 6, 795, 1949.

Rossier P.-H. — Le développement des méthodes d'investigation de la fonction pulmonaire. J. Med. Leysin, XXX[e] année, tome X, 3, 49, 1955.

Rossier P.-H., Bühlmann A., Luchsinger P. — Bemerkungen über Diffusionsstörungen der Lunge. Schw. Med. Wschr., 2, 25, 1954.

Sadoul P. — Exploration de la fonction pulmonaire dans les pneumoconioses. Rapport du 27[e] congrès international de Médecine du travail, Médecine sociale et Médecine légale. Strasbourg 1954. Impr. A. Coueslaut, Cahors.

Sadoul P., Cara M., Braun P. — La bronchospirométrie ou séparation des airs. Le Poumon, 5, 345, 1953.

Sadoul P., Grilliat J.-P., Braun P. — La bronchospirométrie ou séparation des airs. Résultats, indications. Le Poumon et le Cœur, tome XI, 9, 939, 1955.

Serrano S. — L'esame della funzionalità polmonare nei pazienti di chirurgia toracica. Giornale di Medicina e Tisiologia, 2, 177, 1955.

van Slyke D.-D., Neill J.-M. — The determination of bases in blood and other sclutions by vacuum extraction and manometric measurement. J. Biol. Chem., 61, 523, 1924.

Stroud R.-C., Rahn H. — Effects of O2 and CO2 tensions upon the resistance of pulmonary blood vessels. Am. J. Physiol., 172, 211, 1953.

Tiffeneau R., Bousser J., Drutel P. — Capacité vitale et capacité pulmonaire utilisable à l'effort. Critères statique et dynamique de la ventilation pulmonaire. Paris Méd., 45, 543, 1949.

Tiffeneau R., Drutel P. — L'épreuve du cycle respiratoire maximum pour l'étude spirographique de la ventilation pulmonaire. Presse Méd., 640, 1952.

Zavod W.-A. — Bronchospirography I. Description of the catheter and the technique of intubation. J. Thorac. Surg., 10, 27, 1940.

TABLE DES MATIERES

I. Introduction 5

II. L'examen global de la fonction cardio-respiratoire 9

A. Les tests de la ventilation 9

B. La mesure des échanges gazeux 10

C. Les analyses gazométriques du sang artériel 11

D. Le cathétérisme du cœur et des gros vaisseaux 11

E. Les épreuves d'effort 12

III. Méthodes d'exploration permettant d'apprécier la valeur fonctionnelle relative de chacun des deux poumons 13

A. La bronchospirométrie ou séparation des airs 13

B. La bronchospirométrie avec effort 14

C. Les épreuves d'hypoxie unilatérale 16

D. L'occlusion bronchique 17

IV. L'occlusion temporaire unilatérale de l'artère pulmonaire 19

A. Introduction 19

B. Expérience personnelle 20

1. Technique 21

2. Casuistique 22

3. Résultats 25

4. Validité de la méthode 37

5. L'occlusion partielle de l'artère pulmonaire 38

V. Conclusions 39

Résumé 44

Bibliographie 45

CAS	AGE	DIAGNOSTIC	INTERVENTION PROPOSÉE	ÉPREUVES DE LA FONCTION RESPIRATOIRE GLOBALE													BRONCHOSPIROMÉTRIE			
				CVt	CVm	Vmt	Vm.m	V̇		V̇O2		V̇CO2		R		Eq. O2		VEMSxCV / 100	CV		V̇O2	
								r	e	r	e	r	e	r	e	r	e		droite	gauche	droite	gauche
1. R. Paul	61	épithélioma spinocellulaire lobaire inférieur gauche	pneumonectomie gauche	3730	3900	94	73	8	22,1	254	370	218	690	0,85	0,94	3,1	3,0	72				
2. R. Hanny	37	adénome de la bronche intermédiaire droite	bilobectomie moyenne et inférieure droite	3100	3300	83	72	5,4		209		176		0,84		2,5		70				
3. S. Edouard	60	épithélioma trabéculaire lobaire supérieur gauche	pneumonectomie gauche	3875	4500	96	94	7,7		207		179		0,87		3,7						
4. L. Abel	47	silico—tuberculose cavitaire droite ; bronchiectasies des lobes moyen et inférieur droits	bilobectomie moyenne et inférieure droite	4050	2625	110	61	8,4		232		180		0,77		3,6		79				
5. S. Max	60	cancer pulmonaire droit probable	pneumonectomie droite		3020		52,660												960	1410	132	211
6. H. Walter	34	tuberculose bilatérale cavitaire droite; abcès de la base droite; status après PNO extrapleural gauche abandonné	lobectomie inférieure droite	4370	2700	110	53	7,9		264		226		0,85		2,9		54				
7. C. Gustave	68	épithélioma trabéculaire lobaire inférieur droit	pneumonectomie droite	3703	4300	89	73	6,8		256		174		0,68		2,6		69				
8. M. Hamida	33	tuberculose cavitaire bilatérale traitée par thoracoplastie apicale droite	lobectomie supérieure droite puis thoracoplastie supérieure gauche	4321	2800	121	34	7,1		160						4,4		40				
9. M. Edmond	54	tuberculose cavitaire droite	pneumonectomie droite	3905	3100	95	68	6,8		251		208		0,82		3,4		59				
10. B. Mustapha	32	tuberculose cavitaire du lobe supérieur droit sous thoracoplastie ; fistule axillaire après spéléotomie	lobectomie supérieure droite	4172	2350	107	49	7,4		230		220		0,95		3,2		54				
11. C. Roger	33	tuberculose bilatérale cavitaire gauche	lobectomie supérieure gauche avec lingulectomie	4600	3200	150	49	6,8		254		234		0,90		2,6		51				
12. B. Louis	43	tuberculose pleuro-pulmonaire gauche étendue et cavitaire	pleuro-pneumonectomie gauche	4270	2225	120	43	7,6		284		216		0,76		2,6		70	1800	60	290	0
13. P. Albin	61	cancer atypique lobaire inférieur gauche	pneumonectomie gauche	3631	1700	86,700	33												950			
14. B. Marguerite	50	angiome du poumon droit avec shunt artério-veineux	pneumonectomie droite	2976	1200	66,700	28															
15. S. Herta	59	néoplasme abcédé du lobe supérieur droit	lobectomie supérieure droite ou pneumonectomie	2460	2290	59,400	37,400															
16. B. Pierre	40	tuberculose bilatérale cavitaire gauche; séquelles pleurales droites	lobectomie supérieure gauche, suivie de thoracoplastie	4281	2425	113	51,600	7,2		262		204		0,77		2,7						
17. F. William	55	tuberculose pleuro-pulmonaire droite ; perforation pleuro-bronchique	pleuro-pneumonectomie droite	4120	3100	108,500	73,200															
18. E. Simone	55	tuberculose bilatérale multicavitaire droite ; status après PNO intrapleural et alcoolisation du phrénique à droite	pneumonectomie droite	2945	2150	81,500	43,200	5 9		228		214		0,93		2,5		65				
19. H. Ernest	34	tuberculose bilatérale cavitaire droite ; sclérose rétractile ; emphysème	lobectomie supérieure droite, suivie de thoracoplastie	4394	3505	132	29	6,3		256		210		0,82		2,4		38				
20. S. Oscar	44	silico-tuberculose bacillaire grave	thoracoplastie supérieure droite	4410	4350	135,500	40	8,2		294		192		0,65		2,7		65				

EPREUVE DE HANSON															CONCLUSION DE L'ENSEMBLE DES EXAMENS FONCTIONNELS PRÉOPÉRATOIRES	INTERVENTION	CATAMNESE
f	$\dot{V}$	$\dot{V}O_2$	$\dot{V}CO_2$	R	Eq. O_2	$S\bar{v}$	$S\bar{a}$	Cap. $\dot{a}$	$\dot{Q}$	Pm AH	Pm AP	r. P.	φ	Durée min.	Charge de l'effort W/3o t/min			
15 18	6,5 6,8	0,228 0,266	0,178 0,203	0,78 0,76	2,8 2,5	64 67	90 93	15,6 16,4	5,2 5,8	100 100	18 18	277 248	70 80	26 27		pas de contre-indication à l'intervention proposée	pneumonectomie gauche	décès par insuffisance cardiaque 11 mois après
27 25	4,8 5,1	0,200 0,208	0,163 0,156	0,81 0,75	2,4 2,4	71 72	94 95	16,0 16,2	5,1 5,2	80 90	13 12	203 185	80 80	35 18		pas de contre-indication à l'intervention proposée	bilobectomie moyenne et inférieure droite	pas d'insuffisance cardiaque ou respiratoire 13 mois après
15 17 21	7,7 7,9 16,1	0,210 0,261 0,550	0,177 0,188 0,435	0,84 0,72 0,79	3,6 3,0 2,9	73 72 60	95 93 93	17,0 17,4 18,2	5,4 6,9 9,2	110 110 120	16 16 16	237 185 139	75 80 110	31 27 17	30	pas de contre-indication à l'intervention proposée	pneumonectomie gauche	pas d'insuffisance cardiaque ou respiratoire 14 mois après
23 26	8,1 11,5	0,245 0,287	0,171 0,213	0,69 0,74	3,3 4,0	70 69	89 88	16,8 16,6	6,8 7,9	90 90	17 23	200 232	100 90	24 17		pas de contre-indication formelle à l'intervention proposée	le patient refuse l'intervention	
12 16 30	7,0 6,9 19,0	0,211 0,228 0,594	0,192 0,197 0,470	0,90 0,86 0,79	3,3 3,0 3,1	64 66 52	93 90 82	15,4 15,0 14,2	4,4 5,7 11,0	135 140 155	15 24 35	272 336 254	80 80 120	29 21 16	30	contre-indication à l'intervention proposée	pas d'intervention	
20 23 36 40	8,5 11,0 21,3 21,5	0,274 0,260 0,623 0,592	0,220 0,242 0,540 0,554	0,80 0,93 0,86 0,93	3,1 4,2 3,4 3,6	70 71 55	91 96 89	15,1 15,6 14,8	7,6 6,3 10,9	95 110 110	15 16 27 20	156 203 198	100 100 120 115	23 23 12 5	30	l'intervention devrait être limitée à une lobectomie	thoracotomie droite	arrêt cardiaque en cours d'intervention
14 14 18 18	7,4 7,5 19,8 20,8	0,233 0,214 0,616 0,620	0,198 0,200 0,582 0,575	0,85 0,93 0,94 0,92	3,1 3,4 3,2 3,3	63 72 58 54	91 92 93 74	14,0 14,1 14,8 11,6	5,3 6,9 11,0 19,3	80 90 105 100	15 17 26 23	226 197 189 95	70 70 90 85	24 22 14 6	40	pas de contre-indication formelle à l'intervention proposée	pneumonectomie droite	décès par métastases généralisées 4 mois après
21 19	7,3 9,1	0,248 0,302	0,208 0,225	0,87 0,82	2,9 3,7	74 68	96 95	18,3 18,9	5,9 5,6	90 100	20 33	270 500	60 80	28 16		la fonction des lobes moyen et inférieur droits doit être absolument maintenue pendant et après l'opération	on renonce à l'intervention	
13 15 35 36	9 1 9 2 29,3 30,1	0,250 0,263 0,836 0,780	0,242 0,245 0,828 0,800	0,96 0,93 0,99 1,02	3,6 3,5 3,5 3,8	75 71 51 54	97 94 88 94	17,2 17,0 16,4 17,8	6,6 6,4 12,1 10,1	95 95 110 95	20 23 39 27	242 287 258 214	90 90 110 110	33 19 13 14	40	contre-indication à l'intervention proposée	pas d'intervention	
17 19 30 28	8,1 8,9 24,7 24,2	0,238 0,250 0,724 0,715	0,221 0,229 0,660 0,690	0,92 0,91 0,91 0,96	3,4 3,5 3,4 3,3	73 72 56 56	91 91 85 91	18,8 19,0 17,6 19,7	6,1 6,2 12,0 9,4	85 87 105	20 26 32 25	262 335 212 213	100 100 125 110	26 18 10 5	40	la fonction du lobe inférieur droit doit être absolument maintenue pendant et après l'opération	lobectomie supérieure droite	tuberculose guérie ; pas d'insuffisance cardiaque ou respiratoire 10 mois après.
15 15 20 25	8 5 7,7 17,8 19,3	0,257 0,288 0,764 0,730	0,224 0,227 0,580 0,593	0,87 0,78 0,75 0,83	3,3 2,6 2,3 2,7	67 66 52 56	94 94 91 94	16,8 16,6 16,6 17,7	5,3 5,7 10,7 9,9	85 85 95 95	18 24 31 25	271 336 232 202	70 80 100 100	23 19 14 15	30	l'intervention doit épargner la base gauche	lobectomie supérieure gauche avec lingulectomie, suivie de thoracoplastie supérieure gauche	tuberculose guérie ; pas d'insuffisance cardiaque ou respiratoire 9 mois après
19 21 29	6,8 7,6 17,9	0,251 0,270 0,600	0,221 0,220 0,576	0,88 0,81 0,96	2,7 2,8 2,9	67 67 55	89 91 91	17,3 17,7 18,1	6,2 6,1 8,4		22 20 30	284 262 285	95 91 137	31 15 12	30	pas de contre-indication à l'intervention proposée	pleurectomie et pneumonectomie gauche	tuberculose guérie ; pas d'insuffisance cardiaque ou respiratoire 8 mois après
18 17	5,6 5,5	0,188 0,221	0,157 0,161	0,83 0,72	2,9 2,4	71 67	91 91	16,2 16,1	5,4 5,1	100 115	15 25	222 392	95 85	25 16		l'intervention proposée, sans être formellement contre-indiquée, s'accompagne d'un risque certain	thoracotomie exploratrice ; tumeur inopérable	
25 26	7,0 6,0	0,205 0,226	0,157 0,154	0,76 0,68	3,4 2,6	53 73	63 92	11,1 16,2	11,6 6,5	125 130	32 35	221 430	122 122	21 20		une intervention visant à supprimer le shunt sera utile et probablement bien supportée	la patiente refuse toute intervention	décès par hémoptysie 6 mois après
18 19 26	5,5 6,3 8,8	0,195 0,233 0,320	0,158 0,158 0,259	0,81 0,67 0,80	2,8 2,7 2,7	71 71 63	95 91 94	15,0 14,3 14,9	5,1 7,5 7,1	115 110 115	20 23 28	313 245 315	70 73 85	21 23 13	20	pas de contre-indication à l'intervention proposée	thoracotomie exploratrice ; tumeur inopérable	
25 25	6,8 8,1	0,244 0,259	0,196 0,210	0,80 0,81	2,7 3,1	69 70	96 94	15,0 14,8	5,8 6,8	90 100	23 24	316 282	72 75	20 19	occlusion de l'artère pulmonaire droite	la fonction du lobe inférieur gauche doit être respectée	lobectomie supérieure gauche avec lingulectomie et pleurectomie partielle suivie de thoracoplastie supérieure gauche	fistule broncho-pleuro-cutanée 2 mois après
26 26 30	11,8 12,8 27,7	0,285 0,298 0,665	0,239 0,245 0,637	0,83 0,82 0,95	4,1 4,3 4,1	72 69 60	87 87 91	16,6 16,8 17,6	10,2 8,8 11,1	100 105 125	23 26 36	180 236 259	95 95 120	26 12 13	30	il est indiqué de conserver le maximum de parenchyme pulmonaire	pleuro-pneumonectomie droite totale	décès par insuffisance cardio-respiratoire 3 semaines après
13 14 29 28	5,3 5,5 16,6 15,5	0,225 0,215 0,544 0,522	0,160 0,177 0,492 0,462	0,71 0,82 0,90 0,88	2,3 2,5 3,0 2,9	74 74 59 57	94 95 95 92	16,9 17,0 17,9 17,6	6,3 5,8 8,1 7,8	105 100 135 120	25 30 40 32	317 413 395 328	105 100 135 135	28 28 14 11	30	pas de contre-indication à l'intervention proposée	pneumonectomie droite	tuberculose guérie ; pas d'insuffisance cardiaque ou respiratoire 5 mois après
10 10 22 22	7,4 7,7 17,9 18,3	0,286 0,299 0,673 0,658	0,233 0,245 0,547 0,566	0,80 0,81 0,81 0,86	2,5 2,5 2,6 2,7	70 76 58 93	91 90 88 90	17,8 17,6 17,1 18,3	6,9 11,1 11,4 12,9	85 95 105 100	18 30 43 34	223 216 301 211	110 95 110 110	43 24 15 8	30	pas de contre-indication à l'intervention proposée qui doit être aussi économique que possible	lobectomie supérieure et segmentectomie de Nelson à droite	décès par insuffisance cardio-respiratoire 1 mois après
16 15 28 29	8,7 9,4 20,9 21,8	0,300 0,322 0,662 0,690	0,234 0,236 0,565 0,560	0,78 0,73 0,85 0,81	2,9 2,9 3,1 3,1	60 59 52 51	80 82 84 89	15,4 15,7 16,6 17,6	7,7 7,3 10,1 9,2	90 105 115 115	25 25 38 35	260 275 280 295	85 85 95 95	15 25 18 10	30	pas de contre-indication formelle à l'intervention proposée	on renonce à l'intervention	